

10 / 534835

13 MAY 2005

PCT/JP 2004/007136

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

19.05.2004

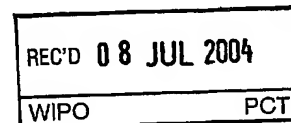
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2004年 3月10日

出願番号  
Application Number: 特願2004-068066  
[ST. 10/C]: [JP 2004-068066]

出願人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

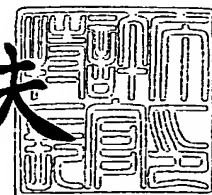


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3055170

Best Available Copy

【書類名】 特許願  
【整理番号】 2022050207  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G02B 6/28  
【発明者】  
    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内  
    【氏名】 浜田 英伸  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000005821  
    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100098291  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 小笠原 史朗  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2003-145708  
    【出願日】 平成15年 5月23日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 035367  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9405386

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

前記入力信号に対応する光信号を、前記光伝送路へ入射光として入射させ、

前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

前記光伝送路から前記出射光を出射させ、前記出射光に対応する前記出力信号を出力することを特徴とする、光デバイス。

**【請求項 2】**

前記光伝送路は、前記光伝送路の前記幅方向に励振する第 0 次モードの伝搬定数と、第 1 次モードの伝搬定数との間の差の関数で表される前記長さ方向の大きさを持つ、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 3】**

前記光伝送路は、前記幅方向の基本モード幅と、前記厚さ方向の最大屈折率と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長との関数で表される前記長さ方向の大きさを持つ、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 4】**

前記光伝送路は、前記厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 5】**

前記屈折率分布は、2 次関数に沿って変化する、請求項 4 に記載の光デバイス。

**【請求項 6】**

前記光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなる、請求項 4 に記載の光デバイス。

**【請求項 7】**

前記光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなり、当該ポリシラン系樹脂が硬化する際の酸素濃度分布によって屈折率分布が施される、請求項 6 に記載の光デバイス。

**【請求項 8】**

前記入力信号は、電気信号であり、当該電気信号を前記光信号へ変換し、前記光信号を前記光伝送路へ前記入射光として入射させる入射部を備える、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 9】**

前記入射部は、前記光伝送路の前記幅方向にアレー状に並ぶ複数の発光部を有する、請求項 8 に記載の光デバイス。

**【請求項 10】**

前記入力信号は、光信号であり、当該光信号を前記光伝送路へ入射光として入射させる入射部を備える、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 11】**

前記出力信号は、電気信号であり、前記光伝送路から出射された出射光として前記光信号を受光し、当該光信号を前記電気信号へ変換する出射部を備える、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 12】**

前記出射部は、前記光伝送路の幅方向にアレー状に並ぶ複数の受光部を有する、請求項 11 に記載の光デバイス。

**【請求項 13】**

前記出力信号は、光信号であり、当該光信号を前記光伝送路から出射光として出射させ

る出射部を備える、請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 14】

前記光デバイスは、少なくとも 1 個の前記入力信号を入力し、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の前記出力信号として出力可能である光  $N$  分岐デバイスであり、

前記光伝送路は、

前記入射光を入射させるための入射面と、

前記出射光を出射させるための出射面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、前記厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

前記入射面上であって前記幅方向の中心に 1 個の入射光を入射させ、前記出射面上であって前記幅方向の中心に 1 個の出射光を生成する、請求項 1 に記載の光デバイス。

【数 1】

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{n_0 W_0^2}{\lambda}$$

【請求項 15】

前記光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の前記入力信号を入力し、少なくとも 1 個の前記出力信号として出力可能である光  $N$  合成デバイスであり、

前記光伝送路は、

前記入射光を入射させるための入射面と、

前記出射光を出射させるための出射面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、前記厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

前記入射面上であって前記幅方向の中心に 1 個の入射光を入射させ、前記出射面上であって前記幅方向の中心に 1 個の出射光を生成する、請求項 1 に記載の光デバイス。

【数 2】

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{n_0 W_0^2}{\lambda}$$

【請求項 16】

前記光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の前記入力信号を入力し、当該入力信号に 1 対 1 対応する  $N$  個の前記出力信号として出力可能であるストレートシートバスであり、

前記光伝送路は、

前記入射光を入射させるための入射面と、

前記出射光を出射させるための出射面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、前記厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

前記入射面上であって前記幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N$  個の前記入射光を入射させ、前記出射面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が同一である位置にそれぞれ、 $N$  個の前記入射光に 1 対 1 対応する  $N$  個の前記出射光を生成する、請求項 1 に記載の光デバイス。



## 【数 3】

$$\frac{8n_0W_0^2}{\lambda}$$

## 【請求項 17】

前記光デバイスは、N (N=1, 2, 3...) 個の前記入力信号を入力し、当該入力信号に 1 対 1 対応する N 個の前記出力信号として出力可能であるクロスシートバスであり、

前記光伝送路は、

前記入射光を入射させるための入射面と、

前記出射光を出射させるための出射面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、前記厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の奇数倍になる値であり、

前記入射面上であって前記幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する N 個の前記入射光を入射させ、前記出射面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が前記幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、N 個の前記入射光と 1 対 1 対応する N 個の前記出射光を生成する、請求項 1 に記載の光デバイス。

## 【数 4】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

## 【請求項 18】

前記光デバイスは、N (N=1, 2, 3...) 個の前記入力信号を入力し、当該入力信号にそれぞれ対応する N 個の前記出力信号として出力するスターカブラであり、

前記光伝送路は、

前記入射光を入射させるための入射面と、

前記出射光を出射させるための出射面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、前記厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の値であり、

前記入射面上であって前記幅方向の所定の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する N 個の前記入射光を入射させ、前記出射面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が前記幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、前記入射光のいずれの 1 個に対しても N 個の前記出射光を生成する、請求項 1 に記載の光デバイス。

## 【数 5】

$$\left(p \pm \frac{1}{N}\right) \frac{4n_0W_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかっこ内を正の値にする整数})$$

## 【請求項 19】

前記光デバイスは、 $N_{\text{EVEN}}$  ( $N_{\text{EVEN}}=2, 4, 6 \dots$ ) 個の前記入力信号を入力し、当該入力信号にそれぞれ対応する  $N_{\text{EVEN}}$  個の前記出力信号として出力するスターカブラであり、

前記光伝送路は、前記入射面上であって前記幅方向の中心に対称な位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N_{\text{EVEN}}$  個の前記入射光を入射させる、請求項 18 に記載の光デバイス。

## 【請求項 20】

前記光デバイスは、 $N_{\text{ODD}}$  ( $N_{\text{ODD}}=1, 3, 5 \dots$ ) 個の前記入力信号を入力し、当該入力信号にそれぞれ対応する  $N_{\text{ODD}}$  個の前記出力信号として出力するスターカブラであり、

前記光伝送路は、前記入射面上であって前記幅方向の中心に非対称な位置にすべて同一の波長 $\lambda$ を有する $N_{04141}$ 個の前記入射光を入射させる、請求項18に記載の光デバイス。

【請求項21】

前記光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の前記入力信号を入力し、当該第1の入力信号に1対1対応する $N$ 個の前記出力信号として出力可能であり、 $M$  ( $M=1, 2, 3 \dots$ ) 個の前記入力信号を入力し、当該入力信号に1対1対応する $M$ 個の前記出力信号として出力可能である双方向ストレートシートバスであり、

前記光伝送路は、

前記長さ方向の一方の端部に形成された第1面と、

前記長さ方向の他方の端部に形成された第2面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を $W_0$ と、前記厚さ方向の最大屈折率を $n_0$ と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を $\lambda$ としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

前記第1面上であって前記幅方向の任意の位置にすべて同一の波長 $\lambda$ を有する $N$ 個の前記入射光を入射させ、前記第2面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が同一である位置にそれぞれ、 $N$ 個の前記入射光と1対1対応する $N$ 個の前記出射光を生成し、

前記第2面上であって前記幅方向の任意の位置に前記第1面に入射する入射光とすべて同一の波長 $\lambda$ を有する $M$ 個の前記入射光を入射させ、前記第1面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が同一である位置にそれぞれ、 $M$ 個の前記入射光と1対1対応する $M$ 個の前記出射光を生成する、請求項1に記載の光デバイス。

【数6】

$$\frac{8n_0W_0^2}{\lambda}$$

【請求項22】

前記光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の第1の入力信号を入力し、当該第1の入力信号に1対1対応する $N$ 個の第1の出力信号として出力可能であり、 $M$  ( $M=1, 2, 3 \dots$ ) 個の第2の入力信号を入力し、当該第2の入力信号に1対1対応する $M$ 個の前記出力信号として出力可能である双方向クロスシートバスであり、

前記光伝送路は、

前記長さ方向の一方の端部に形成された第1面と、

前記長さ方向の他方の端部に形成された第2面とを含み、

前記長さ方向の大きさが、前記幅方向の基本モード幅を $W_0$ と、前記厚さ方向の最大屈折率を $n_0$ と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を $\lambda$ としたとき、ほぼ以下の式の奇数倍になる値であり、

前記第1面上であって前記幅方向の任意の位置にすべて同一の波長 $\lambda$ を有する $N$ 個の前記入射光を入射させ、前記第2面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が前記幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、 $N$ 個の前記入射光と1対1対応する $N$ 個の前記出射光を生成し、

前記第2面上であって前記幅方向の任意の位置にすべて同一の波長 $\lambda$ を有する $M$ 個の前記入射光を入射させ、前記第1面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が前記幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、 $M$ 個の前記入射光と1対1対応する $M$ 個の前記出射光を生成する、請求項1に記載の光デバイス。

【数7】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

【請求項23】

前記光伝送路は、前記長さ方向の一方の端部に形成され前記厚さ方向に平行な方向に沿って入射する前記入射光の光路を前記長さ方向へほぼ $90^\circ$  折り曲げる反射面、及び／又は前記長さ方向の他方の端部に形成され前記長さ方向に沿って伝送された前記出射光の光路を前記厚さ方向に平行な方向に沿って出射させるようにほぼ $90^\circ$  折り曲げる反射面を含む、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項24】

前記光伝送路は、前記長さ方向の一方の端部に形成され前記厚さ方向に傾斜した方向に沿って入射する入射光の光路を前記長さ方向へ折り曲げるプリズム、及び／又は前記長さ方向の他方の端部に形成され前記長さ方向に沿って伝送された出射光の光路を前記厚さ方向に傾斜した方向に沿って出射させるように折り曲げるプリズムを含む、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項25】

前記光伝送路は、前記厚さ方向に複数の固有モードを有する、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項26】

前記光伝送路は、 $20\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項27】

前記光伝送路は、前記長さ方向及び前記厚さ方向を含む任意の相異なる2個の断面において、前記厚さ方向の中心位置が、常に同一の曲線を描くように湾曲している、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項28】

前記光伝送路は、前記長さ方向及び前記厚さ方向を含む任意の相異なる2個の断面において、前記厚さ方向の中心位置が、異なる曲線を描くように振れている、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項29】

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光集積デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を前記厚さ方向に複数積層してなる光伝送部を備え、

前記入力信号に対応する光信号を、各前記光伝送路へ入射光として入射させ、

各前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

各前記光伝送路から前記出射光を出射させ、前記出射光に対応する前記出力信号を出力することを特徴とする、光集積デバイス。

【請求項30】

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスの製造方法であって、

前記光デバイスは、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

前記入力信号に対応する光信号を、前記光伝送路へ入射光として入射させ、

前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

前記光伝送路から前記出射光を出射させ、前記出射光に対応する前記出力信号を出力し、

前記光デバイスの製造方法において、

前記光伝送路の材料である樹脂を硬化させるために印加されるべきエネルギーが伝達可能な材料からなり、少なくとも前記光伝送路の前記厚さ方向と同一の深さを持つ凹部を含む成型型を準備する第1の工程と、

前記凹部に、前記樹脂を充填する第2の工程と、

前記樹脂が充填された前記成型型に対して、前記厚さ方向の上下から所定量の前記エネルギーを印加する第3の工程と、

所望の前記屈折率分布が形成されて硬化した前記樹脂に対して、前記光伝送路にするために、少なくとも前記長さ方向の大きさを決定して、入出射光の接続部分を形成する第4の工程とを備える、光デバイスの製造方法。

【請求項31】

前記第3の工程において、

前記エネルギーの印加は、所定波長の紫外線の照射であり、

前記第1の工程において、

準備される前記成型型は、所定波長の紫外線に対して透明な材料からなる、請求項30に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項32】

前記第3の工程において、

前記エネルギーの印加は、加熱である、請求項30に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項33】

前記光伝送路は、前記厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項30に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項34】

前記屈折率分布は、2次関数に沿って変化する、請求項33に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項35】

前記光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなる、請求項33に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項36】

前記光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなり、当該ポリシラン系樹脂が硬化する際の酸素濃度分布によって屈折率分布が施される、請求項35に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項37】

前記第1の工程において、

前記成型型は、製造すべき前記光伝送路が複数個含まれる大きさを有する凹部を含み、

前記第4の工程において、

前記樹脂を切断することにより、複数個の光伝送路を同時に製造する、請求項30に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項38】

前記第1の工程において、

前記成型型は、製造すべき前記光伝送路の前記幅方向にほぼ等しい大きさを有する凹部を含み、

前記第4の工程において、

前記樹脂を切断することにより、前記長さ方向の大きさを決定する、請求項30に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項39】

前記第1の工程において、

前記成型型は、製造すべき前記光伝送路にほぼ等しい大きさを有する凹部を含み、

前記第4の工程において、

前記光伝送路へ前記入射光及び前記出射光を入出射させるべき位置の前記凹部の壁面

を除去する、請求項 3.0 に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 4 0】

さらに、前記第 4 の工程の前後のいずれか一方に、  
前記成形型から前記光伝送路を離型する第 5 の工程を含む、請求項 3.0 に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 4 1】

互いに異なる 2 個の波長が重ね合わされた多重光信号を入力し、当該多重光信号を波長に応じて分波して、2 個の互いに異なる光信号として出力可能である光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

前記多重光信号を、前記光伝送路へ入射光として入射させ、

前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に各波長ごとに複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、同一の波長の光信号について複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより、波長に応じて幅方向の異なる位置に 2 個の前記出射光を生成し、

前記光伝送路から 2 個の前記出射光を出射させることを特徴とする、光デバイス。

【請求項 4 2】

2 個の前記出射光は、互いの光量の比が、最大になる前記幅方向の位置からそれぞれ出射される、請求項 4 1 に記載の光デバイス。

【請求項 4 3】

2 個の前記出射光は、互いの光量が最小になる前記幅方向の位置からそれぞれ出射される、請求項 4 1 に記載の光デバイス。

【請求項 4 4】

前記光伝送路は、前記光伝送路の前記幅方向に励振する第 0 次モードの伝搬定数と、第 1 次モードの伝搬定数との間の差の関数で表される前記長さ方向の大きさを持つ、請求項 4 1 に記載の光デバイス。

【請求項 4 5】

前記光伝送路は、直方体形状であり、前記幅方向の基本モード幅と、前記厚さ方向の最大屈折率と、前記マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長との関数で表される前記長さ方向の大きさを持つ、請求項 4 1 に記載の光デバイス。

【請求項 4 6】

前記光伝送路は、前記厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 4 1 に記載の光デバイス。

【請求項 4 7】

前記屈折率分布は、2 次関数に沿って変化する、請求項 4 6 に記載の光デバイス。

【請求項 4 8】

互いに異なる波長を持つ 2 個の光信号を入力し、当該光信号を合波して、互いに異なる 2 個の波長が重ね合わされた多重光信号として出力可能である光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

2 個の前記光信号を、前記光伝送路へ入射光として入射させ、

前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に各波長ごとに複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、同一の波長の光信号について複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより、波長に応じて幅方向の同一位置に多重光信号である前記出射光を生成し、

前記光伝送路から前記出射光を出射させることを特徴とする、光デバイス。

【請求項 4 9】

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含み、前記厚さ方向に直交する幅方向に隣接する第1の部分光伝送路及び第2の部分光伝送路からなる光伝送路と、

外部から供給される制御信号に基づいて、前記第1及び第2の部分光伝送路の内、少なくとも一方の前記屈折率分布を変更可能である屈折率変調手段とを備え、

前記屈折率変調手段の動作に基づいて、前記第1の部分光伝送路のみを用いて前記入射光を伝送する第1の状態と、前記第1及び第2の部分光伝送路を用いて前記入射光を伝送する第2の状態との間を選択可能であり、

前記入射信号に対応する光信号を、前記第1の光伝送路へ入射光として入射させ、

前記第1の状態である場合、

前記第1の光伝送路の内部において、前記厚さ方向及び前記幅方向に直交する長さ方向に沿って、前記幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

前記第1の光伝送路から前記出射光を出射させ、前記出射光に対応する前記出力信号を出力する一方、

前記第2の状態である場合、

前記第1及び第2の光伝送路の内部において、前記厚さ方向に沿って、前記幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

前記第2の光伝送路から前記出射光を出射させ、前記出射光に対応する前記出力信号を出力することを特徴とする、光デバイス。

#### 【請求項50】

前記屈折率変調手段は、

前記第1のマルチモード部分光伝送路の前記屈折率分布を変更可能であり、

前記第2の状態において、前記第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を等しくし、

前記第1の状態において、前記第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、前記第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より大きくする、請求項49に記載の光デバイス。

#### 【請求項51】

前記屈折率変調手段は、

前記第2のマルチモード部分光伝送路の前記屈折率分布を変更可能であり、

前記第2の状態において、前記第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を等しくし、

前記第1の状態において、前記第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、前記第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より小さくする、請求項49に記載の光デバイス。

#### 【請求項52】

前記屈折率変調手段は、

前記第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の前記屈折率分布を変更可能であり、

前記第2の状態において、前記第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を等しくし、

前記第1の状態において、前記第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、前記第2の状態における前記第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より大きくするとともに、前記第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、前記第2の状態における前記第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より小さくする、請求項49に記載の光デバイス。

## 【請求項 53】

前記第 1 及び第 2 のマルチモード部分光伝送路の内、前記屈折率変調手段によって、前記屈折率分布が変更可能である光伝送路は、熱光学効果を呈するポリマーからなり、

前記屈折率変調手段は、前記制御信号に応じて熱の発生／吸収が可能な冷熱シートを含み、

前記冷熱シートによって前記光伝送路の温度を変化させて屈折率分布を変化させる、請求項 49 に記載の光デバイス。

## 【請求項 54】

前記光伝送路は、

前記長さ方向の大きさが、前記伝送路の前記幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、前記厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、前記第 1 及び第 2 の光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の奇数倍になる値である、請求項 49 に記載の光デバイス。

## 【数 8】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

## 【請求項 55】

前記光伝送路は、

光伝送路を加えた前記幅方向に対して  $(1/\sqrt{2})$  倍になる前記幅方向の大きさを持つ、請求項 49 に記載の光デバイス。

## 【請求項 56】

前記光伝送路は、前記厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 49 に記載の光デバイス。

## 【請求項 57】

各前記屈折率分布は、2 次関数に沿って変化する、請求項 56 に記載の光デバイス。

## 【請求項 58】

直線上に並べられた  $N$  ( $N=2, 3, 4 \dots$ ) 個の光信号の間隔を変化させるための光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を、前記直線に沿って  $N$  個配置し、

各前記光信号を、各前記光伝送路へ入射光として入射させ、

各前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより、前記幅方向において前記入射光が各前記光伝送路へ入射した位置とは異なる位置に出射光を生成し、

各前記光伝送路から前記光信号として前記出射光を出射させる、光デバイス。

## 【請求項 59】

各前記光伝送路は、

前記入射光を入射させるための入射面と、

前記出射光を出射させるための出射面とを含み、

前記入射面上であって前記幅方向の任意の位置に前記入射光を入射させ、前記出射面上であって各前記入射光の入射位置と前記幅方向の位置が前記幅方向の中心に対して対称になる位置に前記出射光を生成する、請求項 58 に記載の光デバイス。

## 【請求項 60】

前記光デバイスは、前記光信号の間隔を拡大する、請求項 58 に記載の光デバイス。

## 【請求項 61】

さらに、シート状の入射側光伝送路を備え、当該光伝送路は、1 個の入射光を  $N$  個に分岐する光  $N$  分岐デバイスであり、 $N$  分岐された出射光を前記光信号として各前記光伝送路に接続する、請求項 58 に記載の光デバイス。

**【請求項 6 2】**

光信号の位置を変化させるための光デバイスであって、  
シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を複数備え、

前記光伝送路から出射される出射光が、他の前記光伝送路へ入射すべき入射光になるよう複数の前記光伝送路を多段接続し、

前記光信号を、前記光伝送路へ入射光として入射させ、

各前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより、前記幅方向において前記入射光が各前記光伝送路へ入射した位置とは異なる位置に出射光を生成し、

各前記光伝送路から前記光信号として前記出射光を出射させる、光デバイス。

**【請求項 6 3】**

前記光信号は、直線上に並べられた  $N$  ( $N=2, 3, 4 \dots$ ) 個の光信号であり、  
シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を、 $N$  個の前記光信号同士の間隔を変化させるために前記直線に沿って  $N$  個配置し、

各前記光信号を、各前記光伝送路へ入射光として入射させ、

各前記光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより、前記幅方向において前記入射光が各前記光伝送路へ入射した位置とは異なる位置に出射光を生成し、

各前記光伝送路から前記光信号として前記出射光を出射させる、請求項 6 2 に記載の光デバイス。

**【請求項 6 4】**

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスであって、

シート状であり、前記シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含むシート状光伝送路と、

前記入入力信号に応じた前記入射光を、前記シート状光伝送路へ入射させるために伝送する入射側光伝送路と、

前記入射側光伝送路と前記シート状光伝送路とを接続し、前記入射側光伝送路のモードフィールド径を、前記シート状光伝送路へ入射できるように変換する入射側ビーム変換部と、

前記シート状光伝送路から前記出射光を、前記出力信号として出射させるために伝送する出射側光伝送路と、

前記出射側光伝送路と前記シート状光伝送路とを接続し、前記シート状光伝送路のモードフィールド径を、前記出射側光伝送路へ入射できるように変換する出射側ビーム変換部とを備え、

入射側ビーム変換部から出射する前記光信号を、前記シート状光伝送路へ入射光として入射させ、

前記シート状光伝送路の内部において、前記厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、前記長さ方向及び前記厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで前記入射光を伝送するとともに、複数の前記固有モードが前記長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

前記シート状光伝送路から前記出射光を出射させ、前記出射側ビーム変換部へ入射させる、光デバイス。

**【請求項 6 5】**

前記入射側ビーム変換部は、



中心を最大屈折率として中心から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光ファイバーであり、

前記シート状光伝送路に入射される前記光信号と同数配置される、請求項 6 4 に記載の光デバイス。

【請求項 6 6】

前記入射側ビーム変換部は、

前記入射側光伝送路側からシート状光伝送路側へ向けて、中心と周辺との間の屈折率の変化が次第に大きくなる前記屈折率分布を含む、請求項 6 5 に記載の光デバイス。

【請求項 6 7】

前記入射側ビーム変換部は、

前記シート状光伝送路の前記厚さ方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有するスラブ導波路であり、

前記シート状光伝送路に入射される前記光信号と同数配置される、請求項 6 4 に記載の光デバイス。

【請求項 6 8】

前記スラブ導波路は、前記幅方向の大きさが前記シート状光伝送路との接続部に向けて小さくなる形状を備える、請求項 6 7 に記載の光デバイス。

【請求項 6 9】

前記入射側ビーム変換部は、前記シート状光伝送路と一体的に形成される、請求項 6 7 に記載の光デバイス。

【請求項 7 0】

前記入射側ビーム変換部は、

前記シート状光伝送路の前記厚さ方向に平行な方向及び前記幅方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光伝送路であり、

前記シート状光伝送路に対して 1 個配置される、請求項 6 4 に記載の光デバイス。

【請求項 7 1】

前記出射側ビーム変換部は、

中心を最大屈折率として中心から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光ファイバーであり、

前記シート状光伝送路から出射される前記光信号と同数配置される、請求項 6 4 に記載の光デバイス。

【請求項 7 2】

前記出射側光伝送路は、

中心を最大屈折率として中心から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光ファイバーであり、

前記出射側ビーム変換部は、

前記出射側光伝送路側からシート状光伝送路側へ向けて、中心と周辺との間の屈折率の変化が次第に大きくなる前記屈折率分布を含む、請求項 6 5 に記載の光デバイス。

【請求項 7 3】

前記出射側ビーム変換部は、

前記シート状光伝送路の前記厚さ方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有するスラブ導波路であり、

前記シート状光伝送路から出射される前記光信号と同数配置される、請求項 6 4 に記載の光デバイス。

【請求項 7 4】

前記スラブ導波路は、前記幅方向の大きさが前記シート状光伝送路との接続部に向けて小さくなる形状を備える、請求項 7 3 に記載の光デバイス。

【請求項 7 5】

前記出射側ビーム変換部は、前記シート状光伝送路と一体的に形成される、請求項 7 3

に記載の光デバイス。

【請求項 76】

前記出射側ビーム変換部は、

前記シート状光伝送路の前記厚さ方向に平行な方向及び前記幅方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光伝送路であり、

前記シート状光伝送路に対して1個配置される、請求項64に記載の光デバイス。

【請求項 77】

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスの製造方法であって、

前記光デバイスは、

シート状であり、前記シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含むシート状光伝送路と、

前記入力信号に応じた前記入射光を、前記シート状光伝送路へ入射させるために伝送する入射側光伝送路と、

前記入射側光伝送路と前記シート状光伝送路とを接続し、前記入射側光伝送路のモードフィールド径を、前記シート状光伝送路へ入射できるように変換する入射側ビーム変換部と、

前記出射光を、前記シート状光伝送路から前記出力信号として出射させるために伝送する出射側光伝送路と、

前記出射側光伝送路と前記シート状光伝送路とを接続し、前記シート状光伝送路のモードフィールド径を、前記出射側光伝送路へ入射できるように変換する出射側ビーム変換部とを備え、

前記シート状光伝送路と、前記入射側ビーム変換部及び前記出射側ビーム変換部の内の少なくとも一方とに対応する凹部を有し、前記シート状光伝送路の材料である樹脂を硬化させるために印加されるべきエネルギーが伝達可能な材料からなる成型型を準備する第1の工程と、

前記凹部に、前記樹脂を充填する第2の工程と、

前記樹脂が充填された前記成型型に、前記樹脂を硬化させて所望の前記屈折率分布を形成するために、前記厚さ方向の上下から所定量の前記エネルギーを印加する第3の工程と、

硬化した前記樹脂に、前記凹部に形成されていない前記入射側ビーム変換部及び前記出射側ビーム変換部がある場合には当該変換部を接続し、さらに、前記入射側光伝送路と、前記出射側光伝送路とを接続する第4の工程とを備える、光デバイスの製造方法。

【請求項 78】

前記エネルギーの印加は、所定波長の紫外線の照射であり、

前記成型型は、所定波長の紫外線に対して透明な材料からなる、請求項77に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 79】

前記エネルギーの印加は、加熱である、請求項30に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 80】

前記第4工程に先立って、硬化した前記樹脂を成型型から離型する第5の工程を備える、請求項77に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 81】

前記第4工程において、

硬化した前記樹脂に、前記成型型に形成されていない前記入射側ビーム変換部及び前記出射側ビーム変換部がある場合には当該変換部を接続し、さらに、前記入射側光伝送路と、前記出射側光伝送路とを接続する際に、当該光伝送路を位置決めするための位置決め部が形成された基板に各前記光伝送路を配置する、請求項80に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 8 2】

前記第 1 の工程において、

前記成型型は、前記入射側光伝送路及び前記出射側光伝送路の少なくとも一方を位置決めするための位置決め部を含み、

前記第 4 の工程において、

前記位置決め部が形成された前記成型型に各伝送路を配置する、請求項 7 7 に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 8 3】

前記入射側光伝送路は、光ファイバーである、請求項 7 7 に記載の光デバイスの製造方法。

【請求項 8 4】

前記出射側光伝送路は、光ファイバーである、請求項 7 7 に記載の光デバイスの製造方法。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】光デバイス及び光デバイスの製造方法、ならびに光集積デバイス

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、高速マルチモード光伝送に用いられるシート状伝送路を備える光デバイス及び光デバイスの製造方法に関し、特定的には、光分岐器、光合成器、光分波器、光合波器、光ストレートシートバス、光クロスシートバス、スターカプラ、光スイッチ等に好適なマルチモード干渉のセルフイメージング原理を利用した光デバイス及び光デバイスの製造方法に関する。また、本発明は、上記光デバイスを複数備える光集積デバイスに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来より、マルチモードで光信号を伝送する光伝送路が知られている。これらの光伝送路の内、シート状のマルチモード光伝送路がある。例えば、特許文献3は、屈折率が均質のシート状の透明性媒体と、透明性媒体の入射端面に光信号を入射するレーザダイオードアレーと、透明性媒体の出射側端面から出射した光信号を受光するフォトダイオードアレーとを備える光バス回路基板を開示している。特許文献3に開示された光バス回路基板において、レーザダイオードアレーから放射された入射光は、透明性媒体の内部で厚さ方向と幅方向に全反射を繰り返して出射側端面の全面積から出射光として出射され、フォトダイオードアレーで受光される。

## 【0003】

また、特許文献2は、特許文献3と同様に、屈折率が均質のシート状の透明性媒体と、透明性媒体に光信号を入射するレーザダイオードと、透明性媒体から出射した光信号を受光する複数の光ファイバとを備える光分岐装置を開示している。特許文献2に記載された光分岐装置は、入射側の端面に光拡散層を設けて短距離で効率よく光信号を透明性媒体の内部に拡散するようにしている。特許文献2においても入射光は、透明性媒体の内部で厚さ方向と幅方向に全反射を繰り返して出射側端面の全面積から出射光として出射され、フォトダイオードアレーで受光される。

## 【0004】

また、特許文献1は、厚さ方向の中心に最大屈折率を有し、中心から離れるに従って屈折率を低下させる屈折率分布を持つシート状の光データバスを開示している。特許文献1に記載された光データバスは、屈折率分布によりマルチモードのモード分散を低減するとしている。特許文献1においても入射光は、出射側端面の全面積から出射光として出射される。

## 【0005】

一方、入射側のシングルモード光伝送路と、出射側のシングルモード光伝送路との間に、幅方向にマルチモードで光信号を伝送する光導波路を配置する技術がある。この光導波路は、光導波路の一定の屈折率 $n$ と、光導波路の幅方向の基本モード幅 $W_0$ と、伝送される光信号の波長 $\lambda$ とから決定される所定の長さ方向の大きさ $L$ を有する。光導波路は、この長さ方向の大きさ $L$ に基づいて、光信号の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成する（特許文献4乃至8、非特許文献1）。

## 【0006】

また、近年、光通信の分野では、通信容量を拡大するために、複数の信号を異なる波長の光信号に乗せて多重化し、同一の光伝送路により伝送する波長分割多重伝送（Wavelength Division Multiplexing: WDMともいう）方式が検討されている。WDM方式においては、異なる波長の光信号を分波する光分波器、及び異なる波長の光信号を合波する光合波器等の光デバイスが重要な役割を果たす。

## 【0007】

このような光分波器及び光分岐器を、入射側のシングルモード光伝送路と、出射側のシングルモード光伝送路との間に、幅方向にマルチモードで光信号を伝送する光導波路を配置する技術を用いて実現した従来例が知られている（特許文献9、非特許文献2乃至5）

。これら従来の光分波器及び光分岐器は、入射側シングルモード導波路と、入射側シングルモード導波路に接続され、幅方向にマルチモードで伝送する光導波路とを備える。特許文献9、非特許文献2乃至5に記載された光デバイスは、入射側シングルモード導波路に互いに異なる2波長の多重光信号を伝送して、光導波路に入射させる。光導波路は、光信号の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することによって、出射端上の相異なる位置出射光に生成するように、光導波路の幅方向の大きさと長さ方向の大きさを設定している。

#### 【0008】

また、特許文献10は、入射側ビーム変換部と、光導波路部と、出射側ビーム変換部とを備える光デバイスの製造方法を開示している。特許文献10の光デバイスの製造方法は、流動性のある材料をガラス基板内に封止して光導波路を形成することを述べている。また、特許文献10は、特に入射側ビーム変換部及び出射側ビーム変換部を、屈折率の異なる素材を順に積層していくことにより屈折率分布を施すことを開示している（特許文献10、第4図及び対応する記載参照）。

【特許文献1】特開2000-111738号公報（第3図）

【特許文献2】特開2000-329962号公報（第2図）

【特許文献3】特開2001-147351号公報（第1図）

【特許文献4】特開2003-050330号公報（第1図）

【特許文献5】特開2001-183710号公報（第1図）

【特許文献6】特開平1-156703号公報（第1図）

【特許文献7】米国特許第4,087,159号明細書（第1図）

【特許文献8】米国特許第4,950,045号明細書（第1図）

【特許文献9】特開平8-201648号公報（第2-5頁、第11図）

【特許文献10】特開2003-043285（第4図）

【非特許文献1】ルーカス・B・ソルダノ、エリック・C・M・ペニングス(Lucas B. Soldano and Eric C. M. Pennings)著、「オプティカル マルチモード インターフェアレンス デバイス ベイスト オン セルフイメージング プリンシパルズ アンド アプリケーションズ (Optical Multi-Mode Interference Device Based on Self-Imaging: Principles and Applications)」, Vol. 13, No. 4, ジャーナル オブ ライトウェーブ テクノロジー (Journal of Lightwave Technology), 1995年4月

【非特許文献2】F. ロットマン, A. ネイヤー, W. メーベンカンブ, アンド E. フォーゲス (F. Rottmann, A. Neyer, W. Mevenkamp, and E. Voges) 著, 「インテグレイテッド-オプティック ウェブレングス マルチプレクサーズ オン リチウム ニオブेट ベイスト オン ツーモード インターフェアレンス (Integrated-Optic Wavelength Multiplexers on Lithium Niobate based on Two-Mode Interference)」, ジャーナル オブ ライトウェーブ テクノロジー (Journal of Lightwave Technology), Vol. 6, No. 6, 1988年6月

【非特許文献3】M. R. ペイアム, C. F. ヤンツ, R. I. マクドナルド アンド J. N. ブロートン (M. R. Paiam, C. F. Janz, R. I. MacDonald and J. N. Broughton) 著, 「コンパクト プランナー 980/1550-nm ウェブレンクス マルチ/ディマルチプレクサー ベイスト オン マルチモード インターフェアレンス」, (Compact Planar 980/1550-nm Wavelength Multi/Demultiplexer Based on Multimode Interference)」, アイトリプルイー フォトニックス テクノロジー レターズ (IEEE Photonics Technology Letters), Vol. 7, No. 10, 1995年10月

【非特許文献4】K. C. リン アンド W. Y. リー (K. C. Lin and W. Y. Lee) 著, 「ガイドエッド-ウェイブ 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  ウェブレンクス デイビジョン マルチプレクサー ベイスト オン マルチモード インターフェアレンス (Guided-wave 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  wavelength division multiplexer based on multimode

interference)」、アイトリプリー エレクトロニクス レターズ (IEEE Electronics Letters), Vol. 32, No. 14, 1996年7月4日

【非特許文献5】バオジュン リー, グォーチェン リー, エンケ リュー, ズイミン チャン, ジー チン, アンド シュン ウォン (Baojun Li, Guozheng Li, Enke Liu, Zuimin Jiang, Jie Qin and Xun Wang) 著, 「ローパス 1×2 マルチモード インターフェアレンス ウェブレングス デマルチプレクサー イン シリコン-ゲルマニウム アロイ (Low-Loss 1×2 Multimode Interference Wavelength Demultiplexer in Silicon-Germanium Alloy)」, アイトリプリー フォトニクス テクノロジー レターズ (IEEE Photonics Technology Letters), Vol. 11, No. 5, 1999年5月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献2及び特許文献3に記載されたマルチモード光伝送路は、光信号として入射した入射光を透明性媒体の内部を厚さ方向及び幅方向に全反射しながら伝送する。このため、拡散して入射した入射光の経路間で光路長差が発生し、出射端に到達する時間差（モード分散）が生じていた。したがって、特許文献2及び特許文献3に記載されたマルチモード光伝送路は、一般的な入射光の拡散により伝送速度が制限され、10Gbpsを超えるような高速伝送をすることができなかった。

【0010】

特許文献1に記載された光データベースは、厚さ方向において屈折率分布を有するため厚さ方向のモード分散は発生しない。しかしながら、幅方向において一定屈折率であるため、幅方向のモード分散が発生し、同様に伝送速度が制限されるという問題があった。また、特許文献1乃至3に記載された技術は、いずれも出射側端面の全面積から出射光として出射されるので、透過損失が大きいという問題があった。

【0011】

また、特許文献4乃至8及び非特許文献1に記載された光導波路は、厚さ方向においてシングルモードである光信号を入射することにより、高速に伝送することができる。しかしながら、シングルモードであっても光信号として拡散が大きく広がり角度が大きい入射光やビーム径の大きな入射光を用いる場合は、光導波路への結合が困難であるため入出射する際の光信号の損失が大きいという問題があった。また、特許文献4乃至8及び非特許文献1に記載された光導波路は、光導波路の中心に対して軸ズレして入射する入射光に対して損失が大きいので、入出射光を入出射側と高い精度で結合する必要がある。

【0012】

また、特許文献4乃至8及び非特許文献1に記載された光導波路を、厚さ方向においてマルチモードである光信号を入射させて用いる場合、拡散が大きく広がり角度が大きい入射光やビーム径の大きな入射光に対する入出射光の結合が困難であるという問題は改善される。しかしながら、特許文献4乃至8及び非特許文献1に記載された光導波路を、厚さ方向においてマルチモードの光信号を入射させて用いると、厚さ方向にモード分散が発生し、高速に伝送することができない。また、この場合において、厚さ方向に軸ズレ入射する入射光は、厚さ方向に励振される複数の固有モード長さ方向に沿って干渉するため、厚さ方向の強度分布が変化するという問題もあった。厚さ方向の強度分布が変化すると、出射光を出射する際の損失が大きい。

【0013】

一方、特許文献10に記載された光デバイスの製造方法は、光導波路が屈折率分布を持たせた例ではなく、入射側あるいは出射側ビーム変換部に屈折率分布を持たせた例を開示している。したがって、特許文献10に記載された光デバイスの製造方法の内、光導波路を製造する工程を用いた場合、特許文献1、2、4乃至9、非特許文献1乃至5に記載された従来の均質な屈折率を持つ光伝送路を製造することしかできない。また、特許文献10に記載された光デバイスの製造方法の内、ビーム変換部を製造する工程を用いた場合、

レンズ機能を持たせるように幅方向の大きさと長さ方向の大きさを規定しているので、マルチモード干渉を発生させる光導波路を得ることはできない。また、特許文献10に記載された光デバイスの製造方法のビーム変換部を製造する工程は、屈折率の異なる素材を順に積層する方法であるため、光導波路に屈折率分布を形成する方法に適用すると生産性が高い方法とはいえない。

#### 【0014】

そこで、本発明の第1の目的は、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10 Gbps程度的高速伝送が可能である光デバイス及びその光デバイスの製造方法を提供することである。また、本発明の第1の目的は、上記光デバイスを複数備える光集積デバイス及び光集積デバイスの製造方法を提供することである。

#### 【0015】

特許文献9及び非特許文献2乃至5に記載された光デバイスは、光分岐を行う光導波路が幅方向にのみマルチモードで光信号を伝送するため、前述の特許文献4乃至8及び非特許文献1と同様の課題を有していた。すなわち、シングルモードであっても光信号として拡散が大きく広がり角度が大きい多重光信号やビーム径の大きな多重光信号を用いる場合は、光導波路への結合が困難であるため入出射する際の光信号の損失が大きいという問題があった。また、光導波路の中心に対して軸ズレして入射する入射光に対して損失が大きいので、入射する多重光信号や出射する光信号を入出射側と高い精度で結合する必要があった。

#### 【0016】

また、特許文献9及び非特許文献2乃至5に記載された光デバイスに記載された光導波路を、厚さ方向においてマルチモードの多重光信号を入射させて用いると、厚さ方向にモード分散が発生し、高速に伝送することができない。また、この場合において、厚さ方向に軸ズレ入射する多重光信号は、厚さ方向に励振される複数の固有モード長さ方向に沿って干渉するため、厚さ方向の強度分布が変化するという問題もあった。厚さ方向の強度分布が変化すると、多重光信号を分波したり合波したりすることができない。

#### 【0017】

そこで、本発明の第2の目的は、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10 Gbps程度的高速伝送が可能で、多重光信号の分波及び合波を良好に行うことができる光デバイスを提供することである。

#### 【0018】

特許文献1乃至8及び非特許文献1に記載の光伝送路あるいは光導波路は、いずれも入射光に対応して一義的に出射光を出射させるにとどまっている。したがって、光伝送路あるいは光導波路を用いて、入射光に対応した出射光の出射位置を選択するスイッチングを行う技術思想は示唆されていない。

#### 【0019】

そこで、本発明の第3の目的は、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10 Gbps程度的高速伝送が可能で、伝送される光信号のスイッチングが可能な光デバイスを提供することである。

#### 【0020】

特許文献4乃至8及び非特許文献1に記載された光導波路は、入力側及び出射側とも光導波路が、共にシングルモード（コア径は大きくても10  $\mu\text{m}$ ）である。したがって、幅方向に異なる固有モード同士を干渉（マルチモード干渉（Multi-Mode Interference：以下、MMIということがある））させ、Self-Imaging原理に基づいて出射光を発生させた場合、出力端の出射光の分離間隔は、2分岐の場合で出力側における光導波路のコア径に相当する10  $\mu\text{m}$ 程度でよい。しかし、入力側および出力側を共にマルチモード光導波路にした場合、同様に計算したコア径は20  $\mu\text{m}$ ～1

、 $000\mu\text{m}$ 程度と大きくなる。このため、光導波路の出力端の出射光の分離間隔も最低でもコア径以上が必要になる。

#### 【0021】

マルチモード干渉のセルフイメージング原理による出射光の分離間隔は、光導波路の幅にほぼ比例する。また、この場合における光導波路の長さ方向の大きさは、幅方向の大きさの2乗にほぼ比例する。このため、入力側および出力側を共にマルチモード光導波路にした場合、光導波路の形状は、シングモード光導波路の場合と比較して、幅方向で2~100倍、長さ方向で4~10,000倍となり巨大になってしまう。例えば、 $200\mu\text{m}$ のマルチモード光ファイバーを入出力導波路として使用した場合、シングモード光ファイバーを使用した場合と比較して、幅方向の大きさが20倍で、長さ方向の大きさが約200倍（具体的には、幅：約 $400\mu\text{m}$ 、長さ：約 $120,000\mu\text{m}$ ）となり、巨大であると同時に幅と長さのバランス（比率）が悪く取扱いが困難である。

#### 【0022】

さらに、マルチモード干渉のSelf-Imaging原理より発生する出射光のプロファイルは、入射光のプロファイルとほぼ同じである。このため、2分岐以上の合成あるいは分岐を行う場合、すなわち、入出射端により多くのモードフィールド径の大きな入出射光を入出力する場合、光導波路の幅方向の大きさをより大きくしなければならない。既に説明したように、マルチモード干渉のSelf-Imaging原理によって出射光を発生させる光導波路の長さ方向の大きさは、幅方向の大きさの2乗にほぼ比例する。したがって、光導波路の幅方向の大きさが大きくなると、長さ方向の大きさは2分岐の場合以上の大きさが必要になるという問題があった。

#### 【0023】

そこで、本発明の第4の目的は、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングモードによる光信号の伝送と同等の10Gbps程度的高速伝送が可能で、シート状マルチモード光伝送路の幅方向と長さ方向の大きさがコンパクトな光デバイスを提供することである。また、本発明の第4の目的は、上記光デバイスの製造方法を提供することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0024】

上記第1の目的は、以下の第1の光デバイスにより達成される。

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

入力信号に対応する光信号を、光伝送路へ入射光として入射させ、

光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

光伝送路から出射光を出射させ、出射光に対応する出力信号を出力することを特徴とする。

本発明に係る第1の光デバイスは、光伝送路が厚さ方向に屈折率分布を備えているので、マルチモードで光信号を伝送する構成であっても厚さ方向にモード分散が発生せず、高速に光信号を伝送することができる。また、本発明に係る光デバイスは、光伝送路がマルチモード干渉により出射光を発生させるので、入出射の際の損失が小さく接続の際に高精度の調整が不要である。

#### 【0025】

好ましくは、光伝送路は、光伝送路の幅方向に励振する第0次モードの伝搬定数と、第1次モードの伝搬定数との間の差の関数で表される長さ方向の大きさを持つ。好ましくは、光伝送路は、幅方向の基本モード幅と、厚さ方向の最大屈折率と、マルチビーム光伝送



路中を伝送される光の波長との関数で表される長さ方向の大きさを持つ。

【0026】

好ましくは、光伝送路は、厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。特に、屈折率分布は、2次関数に沿って変化することが望ましい。

【0027】

好ましくはさらに、光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなることが望ましい。特に、光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなり、当該ポリシラン系樹脂が硬化する際の酸素濃度分布によって屈折率分布が施される。

【0028】

好ましくは、入力信号は、電気信号であり、当該電気信号を光信号へ変換し、光信号を光伝送路へ入射光として入射させる入射部を備える。一例として、入射部は、光伝送路の幅方向にアレー状に並ぶ複数の発光部を有する。また、好ましくは、入力信号は、光信号であり、当該光信号を光伝送路へ入射光として入射させる入射部を備える。

【0029】

好ましくは、出力信号は、電気信号であり、光伝送路から出射された出射光として光信号を受光し、当該光信号を電気信号へ変換する出射部を備える。一例として、出射部は、光伝送路の幅方向にアレー状に並ぶ複数の受光部を有する。また、好ましくは、出力信号は、光信号であり、当該光信号を光伝送路から出射光として出射させる出射部を備える。

【0030】

好ましくは、光デバイスは、少なくとも1個の入力信号を入力し、N (N=1, 2, 3, ...) 個の出力信号として出力可能である光N分岐デバイスであり、

光伝送路は、

入射光を入射させるための入射面と、

出射光を出射させるための出射面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を $W_0$ と、厚さ方向の最大屈折率を $n_0$ と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を $\lambda$ としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

入射面上であって幅方向の中心に1個の入射光を入射させ、出射面上であって幅方向の中心に対称にN個の出射光を生成する。

【数9】

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{n_0 W_0^2}{\lambda}$$

【0031】

好ましくは、光デバイスは、N (N=1, 2, 3, ...) 個の入力信号を入力し、少なくとも1個の出力信号として出力可能である光N合成デバイスであり、

光伝送路は、

入射光を入射させるための入射面と、

出射光を出射させるための出射面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を $W_0$ と、厚さ方向の最大屈折率を $n_0$ と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を $\lambda$ としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

入射面上であって幅方向の中心に対称にすべて同一の波長 $\lambda$ を有するN個の入射光を入射させ、出射面上であって幅方向の中心に1個の出射光を生成する。

【数10】

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{n_0 W_0^2}{\lambda}$$

【0032】

好ましくは、光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該入力信号に 1 対 1 対応する  $N$  個の出力信号として出力可能であるストレートシートバスであり、

光伝送路は、

入射光を入射させるための入射面と、

出射光を出射させるための出射面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

入射面上であって幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N$  個の入射光を入射させ、出射面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が同一である位置にそれぞれ、 $N$  個の入射光に 1 対 1 対応する  $N$  個の出射光を生成する。

【数 1 1】

$$\frac{8n_0W_0^2}{\lambda}$$

【0033】

好ましくは、光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該入力信号に 1 対 1 対応する  $N$  個の出力信号として出力可能であるクロスシートバスであり、

光伝送路は、

入射光を入射させるための入射面と、

出射光を出射させるための出射面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の奇数倍になる値であり、

入射面上であって幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N$  個の入射光を入射させ、出射面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、 $N$  個の入射光と 1 対 1 対応する  $N$  個の出射光を生成する。

【数 1 2】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

【0034】

好ましくは、光デバイスは、 $N$  ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該入力信号にそれぞれ対応する  $N$  個の出力信号として出力するスターカブラであり、

光伝送路は、

入射光を入射させるための入射面と、

出射光を出射させるための出射面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の値であり、

入射面上であって幅方向の所定の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N$  個の入射光を入射させ、出射面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、入射光のいずれの 1 個に対しても  $N$  個の出射光を生成する。

【数 1 3】

$$\left(p \pm \frac{1}{N}\right) \frac{4n_0W_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかっこ内を正の値にする整数})$$

## 【0035】

好ましくはさらに、光デバイスは、 $N_{\text{EVEN}}$  ( $N_{\text{EVEN}} = 2, 4, 6 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該入力信号にそれぞれ対応する  $N_{\text{EVEN}}$  個の出力信号として出力するスターカプラであり、

光伝送路は、入射面上であって幅方向の中心に対称な位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N_{\text{EVEN}}$  個の入射光を入射させる。

## 【0036】

また、好ましくはさらに、光デバイスは、 $N_{\text{ODD}}$  ( $N_{\text{ODD}} = 1, 3, 5 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該入力信号にそれぞれ対応する  $N_{\text{ODD}}$  個の出力信号として出力するスターカプラであり、

光伝送路は、入射面上であって幅方向の中心に非対称な位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N_{\text{ODD}}$  個の入射光を入射させる。

## 【0037】

好ましくは、光デバイスは、 $N$  ( $N = 1, 2, 3 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該第1の入力信号に1対1対応する  $N$  個の出力信号として出力可能であり、 $M$  ( $M = 1, 2, 3 \dots$ ) 個の入力信号を入力し、当該入力信号に1対1対応する  $M$  個の出力信号として出力可能である双方向ストレートシートバスであり、

光伝送路は、

長さ方向の一方の端部に形成された第1面と、

長さ方向の他方の端部に形成された第2面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の整数倍になる値であり、

第1面上であって幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N$  個の入射光を入射させ、第2面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が同一である位置にそれぞれ、 $N$  個の入射光と1対1対応する  $N$  個の出射光を生成し、

第2面上であって幅方向の任意の位置に第1面に入射する入射光とすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $M$  個の入射光を入射させ、第1面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が同一である位置にそれぞれ、 $M$  個の入射光と1対1対応する  $M$  個の出射光を生成する。

## 【数14】

$$\frac{8n_0W_0^2}{\lambda}$$

## 【0038】

好ましくは、光デバイスは、 $N$  ( $N = 1, 2, 3 \dots$ ) 個の第1の入力信号を入力し、当該第1の入力信号に1対1対応する  $N$  個の第1の出力信号として出力可能であり、 $M$  ( $M = 1, 2, 3 \dots$ ) 個の第2の入力信号を入力し、当該第2の入力信号に1対1対応する  $M$  個の出力信号として出力可能である双方向クロスシートバスであり、

光伝送路は、

長さ方向の一方の端部に形成された第1面と、

長さ方向の他方の端部に形成された第2面とを含み、

長さ方向の大きさが、幅方向の基本モード幅を  $W_0$  と、厚さ方向の最大屈折率を  $n_0$  と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長を  $\lambda$  としたとき、ほぼ以下の式の奇数倍になる値であり、

第1面上であって幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $N$  個の入射光を入射させ、第2面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が幅方向の中心に対して対称になる位置にそれぞれ、 $N$  個の入射光と1対1対応する  $N$  個の出射光を生成し、

第2面上であって幅方向の任意の位置にすべて同一の波長  $\lambda$  を有する  $M$  個の入射光を入射させ、第1面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が幅方向の中心に対して

対称になる位置にそれぞれ、M個の入射光と1対1対応するM個の出射光を生成する。

【数15】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

【0039】

好ましくは、光伝送路は、長さ方向の一方の端部に形成され厚さ方向に平行な方向に沿って入射する入射光の光路を長さ方向へほぼ90°折り曲げる反射面、及び／又は長さ方向の他方の端部に形成され長さ方向に沿って伝送された出射光の光路を厚さ方向に平行な方向に沿って出射させるようにほぼ90°折り曲げる反射面を含む。

【0040】

好ましくは、光伝送路は、長さ方向の一方の端部に形成され厚さ方向に傾斜した方向に沿って入射する入射光の光路を長さ方向へ折り曲げるプリズム、及び／又は長さ方向の他方の端部に形成され長さ方向に沿って伝送された出射光の光路を厚さ方向に傾斜した方向に沿って出射させるように折り曲げるプリズムを含む。

【0041】

好ましくは、光伝送路は、厚さ方向に複数の固有モードを有する。この構成により、厚さ方向にも、マルチモード干渉を利用した光デバイスを提供することができる。好ましくは、光伝送路は、20μm以上の厚さを有する。

【0042】

好ましくは、光伝送路は、長さ方向及び厚さ方向を含む任意の相異なる2個の断面において、厚さ方向の中心位置が、常に同一の曲線を描くように湾曲している。好ましくは、光伝送路は、長さ方向及び厚さ方向を含む任意の相異なる2個の断面において、厚さ方向の中心位置が、異なる曲線を描くように振れている。

【0043】

上記第1の目的は、以下の光集積デバイスにより達成される。

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光集積デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を厚さ方向に複数積層してなる光伝送部を備え、

入力信号に対応する光信号を、各光伝送路へ入射光として入射させ、

各光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

各光伝送路から出射光を出射させ、出射光に対応する出力信号を出力することを特徴とする。

本発明に係る光集積デバイスは、各光伝送路が厚さ方向に屈折率分布を備えているので、マルチモードで光信号を伝送する構成であっても厚さ方向にモード分散が発生せず、高速に光信号を伝送することができる。また、本発明に係る光集積デバイスは、各光伝送路がマルチモード干渉により出射光を発生させるので、入出射の際の損失が小さく接続の際に高精度の調整が不要である。

【0044】

上記第1の目的は、以下の光デバイスの第1の製造方法により達成される。

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスの製造方法であって、

光デバイスは、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

入力信号に対応する光信号を、光伝送路へ入射光として入射させ、

光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

光伝送路から出射光を出射させ、出射光に対応する出力信号を出力し、

光デバイスの製造方法において、

光伝送路の材料である樹脂を硬化させるために印加されるべきエネルギーが伝達可能な材料からなり、少なくとも光伝送路の厚さ方向と同一の深さを持つ凹部を含む成型型を準備する第1の工程と、

凹部に、樹脂を充填する第2の工程と、

樹脂が充填された成型型に対して、厚さ方向の上下から所定量のエネルギーを印加する第3の工程と、

所望の屈折率分布が形成されて硬化した樹脂に対して、光伝送路にするために、少なくとも長さ方向の大きさを決定して、入射光の接続部分を形成する第4の工程とを備える。

本発明の光デバイスの第1の製造方法は、以上の工程を備えているので、所望の屈折率分布を含むシート状の光伝送路を容易に高精度に製造することができる。

【0045】

好ましくは、

第3の工程において、

エネルギーの印加は、所定波長の紫外線の照射であり、

第1の工程において、

準備される成型型は、所定波長の紫外線に対して透明な材料からなる。

【0046】

好ましくは、

第3の工程において、

エネルギーの印加は、加熱である。

【0047】

好ましくは、光伝送路は、厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。好ましくはさらに、屈折率分布は、2次関数に沿って変化する。

【0048】

好ましくはさらに、光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなる。また、好ましくはさらに、光伝送路は、ポリシラン系樹脂からなり、当該ポリシラン系樹脂が硬化する際の酸素濃度分布によって屈折率分布が施される、請求項35に記載の光デバイスの製造方法。

【0049】

好ましくは、

第1の工程において、

成型型は、製造すべき光伝送路が複数個含まれる大きさを有する凹部を含み、

第4の工程において、

樹脂を切断することにより、複数個の光伝送路を同時に製造する。

【0050】

好ましくは、

第1の工程において、

成型型は、製造すべき光伝送路の幅方向にほぼ等しい大きさを有する凹部を含み、

第4の工程において、

樹脂を切断することにより、長さ方向の大きさを決定する。

【0051】

好ましくは、

第1の工程において、

成型型は、製造すべき光伝送路にはほぼ等しい大きさを有する凹部を含み、

第4の工程において、

光伝送路へ入射光及び出射光を入出射させるべき位置の凹部の壁面を除去する。

【0052】

好ましくは、

さらに、第4の工程の前後のいずれか一方に、

成型型から光伝送路を離型する第5の工程を含む。

本発明の光デバイスの製造方法は、第5の工程を含むことにより、成型型の再利用がはかれるため製造時のコストダウンを行うことができる。

【0053】

上記第2の目的は、以下の第2の光デバイスにより達成される。

互いに異なる2個の波長が重ね合わされた多重光信号を入力し、当該多重光信号を波長に応じて分波して、2個の互いに異なる光信号として出力可能である光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

多重光信号を、光伝送路へ入射光として入射させ、

光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に各波長ごとに複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、同一の波長の光信号について複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより、波長に応じて幅方向の異なる位置に2個の出射光を生成し、光伝送路から2個の出射光を出射させることを特徴とする。

本発明に係る第2の光デバイスは、光伝送路が厚さ方向に屈折率分布を備えているので、マルチモードで光信号を伝送する構成であっても厚さ方向にモード分散が発生せず、高速に光信号を伝送することができる。また、本発明に係る光デバイスは、光伝送路がマルチモード干渉により出射光を発生させ波長に応じて分波させるので、入出射の際の損失が小さく接続の際に高精度の調整が不要である。

【0054】

好ましくは、2個の出射光は、互いの光量の比が、最大になる幅方向の位置からそれぞれ出射される。好ましくは、2個の出射光は、互いの光量が最小になる幅方向の位置からそれぞれ出射される。

【0055】

好ましくは、光伝送路は、光伝送路の幅方向に励振する第0次モードの伝搬定数と、第1次モードの伝搬定数との間の差の関数で表される長さ方向の大きさを持つ。

【0056】

好ましくは、光伝送路は、直方体形状であり、幅方向の基本モード幅と、厚さ方向の最大屈折率と、マルチビーム光伝送路中を伝送される光の波長との関数で表される長さ方向の大きさを持つ。

【0057】

好ましくは、光伝送路は、厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。特に、屈折率分布は、2次関数に沿って変化することが望ましい。

【0058】

上記第2の目的は、以下の第3の光デバイスにより達成される。

互いに異なる波長を持つ2個の光信号を入力し、当該光信号を合波して、互いに異なる2個の波長が重ね合わされた多重光信号として出力可能である光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を備え、

2個の光信号を、光伝送路へ入射光として入射させ、

光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に各波長ごとに複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、同一の波長の光信号について複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより、波長に応じて幅方向の同一位置に多重光信号である出射光を生成し、

光伝送路から出射光を出射させることを特徴とする。

本発明に係る第3の光デバイスは、光伝送路が厚さ方向に屈折率分布を備えているので、マルチモードで光信号を伝送する構成であっても厚さ方向にモード分散が発生せず、高速に光信号を伝送することができる。また、本発明に係る光デバイスは、光伝送路がマルチモード干渉により出射光を発生させ波長に応じて合波させるので、入出射の際の損失が小さく接続の際に高精度の調整が不要である。

#### 【0059】

上記第3の目的は、以下の第4の光デバイスにより達成される。

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含み、厚さ方向に直交する幅方向に隣接する第1の部分光伝送路及び第2の部分光伝送路からなる光伝送路と、

外部から供給される制御信号に基づいて、第1及び第2の部分光伝送路の内、少なくとも一方の屈折率分布を変更可能である屈折率変調手段とを備え、

屈折率変調手段の動作に基づいて、第1の部分光伝送路のみを用いて入射光を伝送する第1の状態と、第1及び第2の部分光伝送路を用いて入射光を伝送する第2の状態との間を選択可能であり、

入力信号に対応する光信号を、第1の光伝送路へ入射光として入射させ、

第1の状態である場合、

第1の光伝送路の内部において、厚さ方向及び幅方向に直交する長さ方向に沿って、幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

第1の光伝送路から出射光を出射させ、出射光に対応する出力信号を出力する一方、

第2の状態である場合、

第1及び第2の光伝送路の内部において、厚さ方向に沿って、幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

第2の光伝送路から出射光を出射させ、出射光に対応する出力信号を出力することを特徴とする。

本発明に係る第4の光デバイスは、光伝送路が厚さ方向に屈折率分布を備えているので、マルチモードで光信号を伝送する構成であっても厚さ方向にモード分散が発生せず、高速に光信号を伝送することができる。また、本発明に係る光デバイスは、光伝送路がマルチモード干渉により出射光を発生させスイッチングさせるので、入出射の際の損失が小さく接続の際に高精度の調整が不要である。

#### 【0060】

好ましくは、屈折率変調手段は、

第1のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を変更可能であり、

第2の状態において、第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を等しくし、

第1の状態において、第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より大きくする。

#### 【0061】

好ましくは、屈折率変調手段は、

第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を変更可能であり、

第2の状態において、第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を等しくし、

第1の状態において、第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より小さくする、請求項49に記載の光デバイス。

【0062】

好ましくは、屈折率変調手段は、

第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を変更可能であり、

第2の状態において、第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の屈折率分布を等しくし、

第1の状態において、第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、第2の状態における第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より大きくするとともに、第2のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率を、第2の状態における第1のマルチモード部分光伝送路の最大屈折率より小さくする。

【0063】

好ましくは、第1及び第2のマルチモード部分光伝送路の内、屈折率変調手段によって、屈折率分布が変更可能である光伝送路は、熱光学効果を呈するポリマーからなり、屈折率変調手段は、制御信号に応じて熱の発生/吸収が可能な冷熱シートを含み、冷熱シートによって光伝送路の温度を変化させて屈折率分布を変化させる。

【0064】

好ましくは、光伝送路は、

長さ方向の大きさが、伝送路の幅方向の基本モード幅を $W_0$ と、厚さ方向の最大屈折率を $n_0$ と、第1及び第2の光伝送路中を伝送される光の波長を $\lambda$ としたとき、ほぼ以下の式の奇数倍になる値である。

【数16】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

【0065】

好ましくは、光伝送路は、

光伝送路を加えた幅方向に対して $(1/\sqrt{2})$ 倍になる幅方向の大きさを持つ。この構成により、第2の状態においてもマルチモード干渉により出射光を発生させることができる。

【0066】

好ましくは、光伝送路は、厚さ方向の中央位置が最大屈折率であり、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。特に、各屈折率分布は、2次関数に沿って変化することがのぞましい。

【0067】

上記第4の目的は、以下の第5の光デバイスにより達成される。

直線上に並べられた $N$  ( $N=2, 3, 4, \dots$ ) 個の光信号の間隔を変化させるための光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を、直線に沿って $N$ 個配置し、

各光信号を、各光伝送路へ入射光として入射させ、

各光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより、幅方向において入射光が各光伝送路へ入射した位置とは異なる位置に出射光を生成し、

各光伝送路から光信号として出射光を出射させる。

本発明に係る第5の光デバイスは、以上の構成を備えているので、複数の光信号の間隔



を容易に変更することができる。したがって、入射部にマルチモードの光ファイバ等を用いた場合でも光伝送路を大型させることなく、接続が可能である。

【0068】

好ましくは、各光伝送路は、

入射光を入射させるための入射面と、

出射光を出射させるための出射面とを含み、

入射面上であって幅方向の任意の位置に入射光を入射させ、出射面上であって各入射光の入射位置と幅方向の位置が幅方向の中心に対して対称になる位置に出射光を生成する。

【0069】

好ましくは、光デバイスは、光信号の間隔を拡大する。好ましくは、シート状の入射側光伝送路を備え、当該光伝送路は、1個の入射光をN個に分岐する光N分岐デバイスであり、N分岐された出射光を光信号として各光伝送路に接続する。

【0070】

上記第4の目的は、以下の第6の光デバイスにより達成される。

光信号の位置を変化させるための光デバイスであって、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を複数備え、

光伝送路から出射される出射光が、他の光伝送路へ入射すべき入射光になるよう複数の光伝送路を多段接続し、

光信号を、光伝送路へ入射光として入射させ、

各光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより、幅方向において入射光が各光伝送路へ入射した位置とは異なる位置に出射光を生成し、

各光伝送路から光信号として出射光を出射させる。

本発明に係る第6の光デバイスは、以上の構成を備えているので、光信号を容易に幅方向にシフトすることができる。したがって、入射部にマルチモードの光ファイバ等を用いた場合でも光伝送路を大型させることなく、接続が可能である。

【0071】

好ましくは、光信号は、直線上に並べられたN ( $N=2, 3, 4 \dots$ ) 個の光信号であり、

シート状であり、当該シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む光伝送路を、N個の光信号同士の間隔を変化させるために直線に沿ってN個配置し、

各光信号を、各光伝送路へ入射光として入射させ、

各光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより、幅方向において入射光が各光伝送路へ入射した位置とは異なる位置に出射光を生成し、

各光伝送路から光信号として出射光を出射させる。

【0072】

上記第4の目的は、以下の第7の光デバイスにより達成される。

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスであって、

シート状であり、シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含むシート状光伝送路と、

入力信号に応じた入射光を、シート状光伝送路へ入射させるために伝送する入射側光伝送路と、

入射側光伝送路とシート状光伝送路とを接続し、入射側光伝送路のモードフィールド径を、シート状光伝送路へ入射できるように変換する入射側ビーム変換部と、

シート状光伝送路から出射光を、出力信号として出射させるために伝送する出射側光伝送路と、

出射側光伝送路とシート状光伝送路とを接続し、シート状光伝送路のモードフィールド径を、出射側光伝送路へ入射できるように変換する出射側ビーム変換部とを備え、

入射側ビーム変換部から出射する光信号を、シート状光伝送路へ入射光として入射させ

シート状光伝送路の内部において、厚さ方向に直交する長さ方向に沿って、長さ方向及び厚さ方向の両方に直交する幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで入射光を伝送するとともに、複数の固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより出射光を生成し、

シート状光伝送路から出射光を出射させ、出射側ビーム変換部へ入射させる。

本発明に係る第7の光デバイスは、以上の構成を備えているので、複数の光信号の間隔を容易に変更することができる。したがって、入射部にモードフィールド径の異なるマルチモードの光ファイバ等を用いた場合でも光伝送路を大型させることなく、接続が可能である。

【0073】

好ましくは、入射側ビーム変換部は、

中心を最大屈折率として中心から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光ファイバであり、

シート状光伝送路に入射される光信号と同数配置される。

【0074】

好ましくは、入射側ビーム変換部は、

入射側光伝送路側からシート状光伝送路側へ向けて、中心と周辺との間の屈折率の変化が次第に大きくなる屈折率分布を含む。

【0075】

好ましくは、入射側ビーム変換部は、

シート状光伝送路の厚さ方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する導波路であり、

シート状光伝送路に入射される光信号と同数配置される。

【0076】

好ましくは、導波路は、幅方向の大きさがシート状光伝送路との接続部に向けて小さくなる形状を備える。好ましくはさらに、入射側ビーム変換部は、シート状光伝送路と一体的に形成される。

【0077】

好ましくは、入射側ビーム変換部は、

シート状光伝送路の厚さ方向に平行な方向及び幅方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光伝送路であり、

シート状光伝送路に対して1個配置される。

【0078】

好ましくは、出射側ビーム変換部は、

中心を最大屈折率として中心から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光ファイバであり、

シート状光伝送路から出射される光信号と同数配置される。

【0079】

好ましくは、出射側光伝送路は、

中心を最大屈折率として中心から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光ファイバであり、

出射側ビーム変換部は、

出射側光伝送路側からシート状光伝送路側へ向けて、中心と周辺との間の屈折率の変

化が次第に大きくなる屈折率分布を含む。

【0080】

好ましくは、出射側ビーム変換部は、

シート状光伝送路の厚さ方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する導波路であり、

シート状光伝送路から出射される光信号と同数配置される。

【0081】

好ましくはさらに、導波路は、幅方向の大きさがシート状光伝送路との接続部に向けて小さくなる形状を備える。好ましくはさらに、出射側ビーム変換部は、シート状光伝送路と一体的に形成される。

【0082】

好ましくは、出射側ビーム変換部は、

シート状光伝送路の厚さ方向に平行な方向及び幅方向に平行な方向の中心部に最大屈折率を有し、中心部から離れるに従って屈折率が減少する屈折率分布を有する光伝送路であり、

シート状光伝送路に対して1個配置される。

【0083】

上記第4の目的は、以下の光デバイスの第2の製造方法により達成される。

外部から入力される入力信号と出力すべき出力信号との間を、光信号により接続する光デバイスの製造方法であって、

光デバイスは、

シート状であり、シートの厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含むシート状光伝送路と、

入力信号に応じた入射光を、シート状光伝送路へ入射させるために伝送する入射側光伝送路と、

入射側光伝送路とシート状光伝送路とを接続し、入射側光伝送路のモードフィールド径を、シート状光伝送路へ入射できるように変換する入射側ビーム変換部と、

出射光を、シート状光伝送路から出力信号として出射させるために伝送する出射側光伝送路と、

出射側光伝送路とシート状光伝送路とを接続し、シート状光伝送路のモードフィールド径を、出射側光伝送路へ入射できるように変換する出射側ビーム変換部とを備え、

シート状光伝送路と、入射側ビーム変換部及び出射側ビーム変換部の内の少なくとも一方とに対応する凹部を有し、シート状光伝送路の材料である樹脂を硬化させるために印加されるべきエネルギーが伝達可能な材料からなる成型型を準備する第1の工程と、

凹部に、樹脂を充填する第2の工程と、

樹脂が充填された成型型に、樹脂を硬化させて所望の屈折率分布を形成するために、厚さ方向の上下から所定量のエネルギーを印加する第3の工程と、

硬化した樹脂に、凹部に形成されていない入射側ビーム変換部及び出射側ビーム変換部がある場合には当該変換部を接続し、さらに、入射側光伝送路と、出射側光伝送路とを接続する第4の工程とを備える。

本発明に係る光デバイスの第2の製造方法は、以上の工程を備えるので、所望の屈折率分布を含むシート状の光伝送路と入射側光伝送路と、出射側光伝送路とを備える光デバイスを容易に高精度に製造することができる。

【0084】

好ましくは、エネルギーの印加は、所定波長の紫外線の照射であり、

成型型は、所定波長の紫外線に対して透明な材料からなる。

また、好ましくは、エネルギーの印加は、加熱である。

【0085】

好ましくは、第4工程に先立って、硬化した樹脂を成型型から離型する第5の工程を備える。

## 【0086】

好ましくは、第4工程において、

硬化した樹脂に、成形型に形成されていない入射側ビーム変換部及び出射側ビーム変換部がある場合には当該変換部を接続し、さらに、入射側光伝送路と、出射側光伝送路とを接続する際に、当該光伝送路を位置決めするための位置決め部が形成された基板に各光伝送路を配置する。

## 【0087】

好ましくは、第1の工程において、

成形型は、入射側光伝送路及び出射側光伝送路の少なくとも一方を位置決めするための位置決め部を含み、

第4の工程において、

位置決め部が形成された成形型に各伝送路を配置する。

## 【0088】

好ましくは、入射側光伝送路は、光ファイバーである。また、好ましくは、出射側光伝送路は、光ファイバーである。

## 【発明の効果】

## 【0089】

本発明に係る第1の光デバイスによれば、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10Gbps程度の高速伝送が可能である光デバイスを提供することができる。また、本発明に係る第1の光デバイスの製造方法によれば、上記光デバイスを製造することができる。

また、本発明に係る第1の光集積デバイスによれば、上記光デバイスを複数備える光集積デバイスを提供することができる。また、本発明に係る第1の光集積デバイスの製造方法によれば、上記光集積デバイスを製造することができる。

## 【0090】

本発明に係る第2及び第3の光デバイスによれば、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10Gbps程度の高速伝送が可能で、多重光信号の分波及び合波を良好に行うことができる光デバイスを提供することができる。

## 【0091】

本発明に係る第4の光デバイスによれば、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10Gbps程度の高速伝送が可能で、伝送される光信号のスイッチングが可能な光デバイスを提供することができる。

## 【0092】

本発明に係る第5乃至6の光デバイスによれば、光信号を入出射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10Gbps程度の高速伝送が可能で、シート状マルチモード光伝送路の幅方向と長さ方向の大きさがコンパクトな光デバイスを提供することができる。また、本発明の第4の目的は、上記光デバイスの製造方法を提供することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0093】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、本発明は下記の実施の形態に限定されるものではない。また、本発明は、下記の実施の形態をそれぞれ組み合わせたものも含む。なお、各実施の形態に係る屈折率分布スラブ導波路において、z軸に平行な方向を長さ方向と、y軸に平行な方向を厚さ方向と、x軸に平行な方向を幅方向とそれぞれ定義する。特に、z軸の正に向かう方向を伝送方向と定義する。xyz軸は、3次元直交座標系を構成する。また、各実施の形態に係る屈折率分布スラブ導波路において、x軸に平行な方向の大きさをスラブ幅(W)と、y軸に平行な方向の大きさをスラブ

厚(D)と、z軸に平行な方向の大きさをスラブ長Lとする。特に指定しない限り、各図において、屈折率分布は、図中に示された濃淡により模式的に表わされており、濃淡が濃い程屈折率が高いことを示す。

【0094】

(実施の形態1)

図1(a)は、本発明の実施の形態1に係る光2分岐を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路101の概要を示す斜視図である。図1(b)は、本発明の実施の形態1に係る光2分岐を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路101の断面図である。図18は、光2分岐の場合のBPM(Beam Propagation Method)シミュレーション結果である。

【0095】

実施の形態1に係る光デバイスは、光を伝送する屈折率分布スラブ導波路101を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路101は、図1(a)に示すように、xz平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路101は、厚さ方向の中心位置に最大屈折率  $n_0$  を持ち、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない厚さ方向の屈折率分布を有する。屈折率分布スラブ導波路101は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。屈折率分布スラブ導波路101は、入射面102と、出射面103とを含む。入射面102は、幅方向の中心位置に入射光107を入射させる入射部(図示せず)に対向する。出射面103は、幅方向の中心に対して対称な位置から出射する2個の出射光108を受光する出射部(図示せず)に対向する。入射部は、光信号に対応する入射光107を入射面102の幅方向の中心位置に入射させる。入射光107は、屈折率分布スラブ導波路101の内部を伝送される。入射光107は、屈折率分布スラブ導波路101の内部で、後述するマルチモード干渉のセルフイメージング原理に従って2分岐され、出射面103の幅方向に離れた位置から2個の出射光108として出射し出射部に至る。

【0096】

屈折率分布スラブ導波路101のスラブ長Lは、ほぼ  $n_0 \times W_0^2 / (2\lambda)$  であり、2個の出射光108の出射位置の幅方向の間隔D1は、ほぼ  $W_0 / 2$  である。ここで、 $W_0$  は、屈折率分布スラブ導波路101の幅方向の基本モードの幅を表す。ただし、スラブ長Lが、 $n_0 \times W_0^2 / (2\lambda)$  に一致する位置から以降は、セルフイメージング原理により、 $n_0 \times W_0^2 / \lambda$  の長さ毎に同様の出力が繰り返される。したがって、スラブ長Lを、 $n_0 \times W_0^2 / (2\lambda)$  の奇数倍とすることで、所望の大きさになるようにスラブ長Lを調節することができる。

【0097】

たとえば、図1(a)に示す屈折率分布スラブ導波路101において、厚さ方向の中心の最大屈折率  $n_0$  を約1.5とし、伝送される光の波長  $\lambda$  を  $1.30 \mu\text{m}$  とし、屈折率分布スラブ導波路101のスラブ幅Wを  $400 \mu\text{m}$  とし、屈折率分布スラブ導波路101のスラブ厚Dを  $50 \mu\text{m}$  とした場合を考える。屈折率分布スラブ導波路101の幅方向の基本モードの幅  $W_0$  は、屈折率分布スラブ導波路101の周囲の屈折率  $n_1$  に依存する。屈折率分布スラブ導波路101の周囲が空気( $n_1 = 1$ )の場合、 $W_0$  の値が  $400.16 \mu\text{m}$  となるので、屈折率分布スラブ導波路101の最短のスラブ長Lの値は、約92,  $400 \mu\text{m}$  となる。このとき、出射光108の出射位置間隔D1の値は、 $200.08 \mu\text{m}$  となる。図18に、以上の条件に基いて実施したBPMシミュレーションの結果を示す。図18において、入射面102の幅方向の中心位置に入射した1個の入射光107が、長さ方向に沿ってマルチモード干渉しながら5分岐、4分岐、3分岐と変化し、最終的には出射面103で設計通り2分岐となる様子がわかる。

【0098】

屈折率分布スラブ導波路101の厚さ方向の屈折率分布は、例えば、(数1)に示すように厚さ方向の中心に位置する屈折率の極大点  $n_0$  と極大点から厚さ方向に離れる距離  $r$  と屈折率分布定数  $A^{1/2}$  とで表される。

【数 17】

$$n = n_0 \left( 1 - A \frac{r^2}{2} \right) \quad (\text{数 1})$$

【0099】

屈折率分布定数は、屈折率分布スラブ導波路 101 中を伝送する光が、膜厚から外へ出ないように、屈折率分布スラブ導波路 101 の膜厚と入射光 107 のプロファイルとに応じて最適化される。例えば、屈折率分布スラブ導波路 101 の膜厚に対して、入射光 107 の広がり角度が大きい場合は、屈折率分布定数を大きくする。逆に、入射光 107 の広がり角度が小さい場合は、屈折率分布定数を小さくする。また、入射光 107 のビーム径に合わせて屈折率分布スラブ導波路 101 の膜厚を調整すると結合ロスを低減できる。なお、屈折率分布は（数 1）に示すような連続的な変化でなくともよく、中心からの距離の関数として階段状に変化しても問題無い。

【0100】

次に、屈折率分布スラブ導波路 101 の入射面 102 に幅方向の中心線に対称に入射する入射光を入射した時に、出射面 103 側で幅方向の中心線に対称に 2 分岐するメカニズムを説明する。ただし、(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光の場合（図 1 (b) において A と記載した光路を伝送する光信号）と、(ii) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光とに分けて説明する。(ii) の厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、中心面に軸ずれ角度を有して入射する入射光の場合（図 1 (b) において B と記載した光路を伝送する光信号）と、中心面から位置ずれ（軸ずれ）した位置に入射する入射光の場合（図 1 (b) において C と記載した光路を伝送する光信号）との 2 つの光信号が存在する。(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光は、厚さ方向の屈折率分布の影響を受けない。一方、(ii) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、厚さ方向の屈折率分布の影響を受ける。

【0101】

屈折率分布スラブ導波路 101 において、(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光の振る舞いは、実質的に最大屈折率  $n_0$  しか感じないので、非特許文献 1 に記載されたスラブ導波路において一定屈折率を、最大屈折率  $n_0$  とした場合と等価である。したがって、屈折率分布スラブ導波路 101 の厚さ方向の中心面内を伝送する入射光に対する出射光の状態は、屈折率が  $n_0$  で一定のスラブ導波路の幅方向に励起するマルチモードのモード分散によって、スラブ長  $L$  に応じて変化する。ただし、出射光の状態が変化すると、入射光と同じ像の数と出射位置とが変化することを意味する。実施の形態 1 に係る屈折率分布スラブ導波路 101 の場合、スラブ長  $L$  を、ほぼ  $n_0 \times W_0^2 / \lambda / 2$  に一致させ、入射面 102 の幅方向の中心位置に 1 個の入射光 107 を入射させることにより、出射面 103 に入射光 107 と同じ像が、幅方向の中心に対称にほぼ  $W_0 / 2$  だけ離れた間隔に形成されるように構成している。屈折率分布スラブ導波路 101 は、出射面 103 に形成された 2 個の像を、2 個の出射光 108 として出力している。2 個の出射光 108 は、入射光 107 と同じ像を出力したものであるため、それぞれ同じプロファイルを持つ。

【0102】

このようなマルチモード干渉 (MMI: Multi-Mode Interference) のセルフイメージング原理を利用することにより、幅方向の入射位置に応じて、以下の (1) 及び (2) に示す機能を持つデバイスを作成することができる。

【0103】

(1) 非対称入射:

一定屈折率  $n_0$  を有するスラブ導波路において、幅方向の中心から  $x$  だけずれた入射光に対して、入射光と同じプロファイルを有する出射光が、下記の (数 2) ~ (数 8) に示すようにスラブ長  $L$  に応じて位置と数とを変化させて出射面から出射する。ただし、 $p$  及び  $N$  は、整数である。また、整数  $p$  は  $(p \pm 1 / N)$  が正となる整数である。

【0104】

(1-1)  
【数18】

$$L = p \frac{8n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (\text{数2})$$

スラブ長  $L$  が (数2) を満足することにより、出射面の幅方向において入射光に対応する位置、すなわち幅方向の中心から入射光の場合と同方向に  $x$  だけずれた位置に、出射光を出射させることができる。

【0105】  
(1-2)  
【数19】

$$L = (2p+1) \frac{4n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (\text{数3})$$

スラブ長  $L$  が (数3) を満足することにより、出射面の幅方向において入射光と幅方向の中心に対称な位置、すなわち幅方向の中心から入射光の場合と逆方向に  $x$  だけずれた位置に、出射光を出射させることができる。

【0106】  
(1-3)  
【数20】

$$L = \left( p \pm \frac{1}{N} \right) \frac{4n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (\text{数4})$$

スラブ長  $L$  が (数4) を満足することにより、出射面の幅方向において入射光に対応する位置、すなわち幅方向の中心から入射光の場合と同方向に  $x$  だけずれた位置と、出射面の幅方向において入射光と幅方向の中心に対称な位置、すなわち幅方向の中心から入射光の場合と逆方向に  $x$  だけずれた位置との間の  $N$  カ所に、 $N$  個の出射光を出射させることができる。

【0107】

なお、入射光が2個で、入射位置がそれぞれ中心から約  $\pm W_0/6$  ずれている場合は、スラブ長  $L$  は下記のように (1-1) から (1-3) で述べたスラブ長  $L$  に対して  $1/3$  の長さになる。

(1-1) ‘  
【数21】

$$L = p \frac{8n_0 W_0^2}{3\lambda} \quad (\text{数5})$$

(1-2) ‘  
【数22】

$$L = (2p+1) \frac{4n_0 W_0^2}{3\lambda} \quad (\text{数6})$$

(1-3) ‘

【数 2 3】

$$L = \left( p \pm \frac{1}{N} \right) \frac{4n_0 W_0^2}{3\lambda} \quad (\text{数} 7)$$

【0108】

(2) 対称中心入射:

一定屈折率  $n_0$  を有するスラブ導波路において、幅方向の中心に対して対称に入射する入射光に対して、入射光と同じプロファイルを有する出射光が、下記の (数 8) に示すようにスラブ長  $L$  に応じて位置と数とを変化させて出射面から出射する。ただし、 $p$  及び  $N$  は、整数である。また、整数  $p$  は  $(p \pm 1/N)$  が正となる整数である。

【数 2 4】

$$L = \left( p \pm \frac{1}{N} \right) \frac{n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (\text{数} 8)$$

スラブ長  $L$  が (数 8) を満足することにより、出射面の幅方向の中心対称に  $N$  個の出射光が各  $W_0/N$  の間隔で出射する。

【0109】

なお、複数個の入射光が有る場合は、各入射光について個別に出射光を求め、対応する出射光を重ね合わせればよい。

【0110】

実施の形態 1 に係る屈折率分布スラブ導波路 101 の厚さ方向の中心面内を伝送する光は、(数 8) において、屈折率  $n_0$ 、 $N=2$  とした場合に相当する。したがって、入射光は出射端で 2 分岐される。

【0111】

一方、(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、厚さ方向の屈折率分布の影響を受けるので、図 1 (b) に示すように、中心面に沿って厚さ方向に蛇行しながら伝播する。すなわち、中心面から離れる方向へ進む光は、常に相対的に屈折率が大きい部分から小さい部分へ進むので、進むにつれて徐々に進行方向と厚さ方向のなす角度が大きくなり、中心軸から最も離れた位置で  $90^\circ$  なる。また、中心面へ近づく方向へ進む光は、常に相対的に屈折率が小さい部分から大きい部分へ進むので、進むにつれて徐々に進行方向と厚さ方向のなす角度が小さくなり、中心面と交差する位置で最小となる。(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、蛇行しながらも感じる屈折率は常に最大屈折率  $n_0$  よりも小さいので、(i) 厚さ方向の中心軸上を伝送する光よりも速度は早くなる。

【0112】

ここで、屈折率分布が (数 1) に示す 2 次関数の屈折率分布である場合、(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光の中心面に平行な伝送速度の成分は、(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光の伝送速度と等しくなる。このことは、厚さ方向のモード分散がないことを意味している。従って、入射光の (i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光の中心面に平行な成分 (蛇行する光の厚さ方向に垂直な方向成分) は、(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光と同様に、出射面で幅方向の中心に対して対称に 2 分岐される。

【0113】

射光の (i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光の中心面に垂直な成分 (蛇行する光の厚さ方向成分) は、蛇行する光の伝播位置に応じて変化するので、出射光の状態は特定できない。ところが、この蛇行する光の厚さ方向成分は、厚さ方向のモード分散がないので、モード分散に起因する信号波形の乱れの影響を受けない。このため、あたかも幅方向についてもモード分散の影響が無い場合と等価の振る舞いをする。従って、2 個の出射光は、それぞれ入射光と同じ像を有することになる。以上の結果から、(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光 (蛇行する光) は、(i) の場合と同じようにスラブ導波路形状



に応じて幅方向の中心対称に入射光と同じ像として2分岐される。

【0114】

上記の説明のように、入射光は屈折率分布スラブ導波路101の厚さ方向の全ての固有モードについて等しく2分岐するので、入射面の幅方向の中心位置に入射光が入射すれば、厚さ方向の中心からの位置ずれや大きな広がり角度を有している場合であっても2分岐として機能する光デバイスを得ることができる。なお、入射光の幅方向の中心からの位置ずれは出射光の分岐比のアンバランスの原因となるので、同等の出射光を得たい場合、できるだけ位置ずれが無い方がよい。しかしながら、この位置ずれを積極的に利用して分岐比の調整をすることも可能である。

【0115】

以上のように、実施の形態1の光2分岐デバイスは、以下の式で表される値の奇数倍であるスラブ長Lを持つ屈折率分布スラブ導波路を有しているので、屈折率分布スラブ導波路の入射面の幅方向の中心に入射した入射光を、出射面の幅方向の中心に対称に2個の出射光を生成して出力することができる。

【数25】

$$\frac{n_0 W_0^2}{2\lambda}$$

【0116】

なお、実施の形態1の光2分岐デバイスの入射面と出射面とを入れ替えて、光2合成デバイスとして使用することができる。この場合は、入射面の幅方向の中心位置に対称に2個の入射光を入射させ、出射面の幅方向の中心に1個の出射光を出射させる。光2合成デバイスのスラブ長Lは、光2分岐デバイスのスラブ長Lと等しい。

【0117】

(実施の形態2)

図2は、本発明の実施の形態2に係る光8分岐を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の概要を示す斜視図である。実施の形態2に係る光デバイスは、光を伝送する屈折率分布スラブ導波路201を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路201は、図2に示すように、x-z平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路201は、厚さ方向の中心に最大屈折率  $n_0$  を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を有する。屈折率分布スラブ導波路201は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。屈折率分布スラブ導波路201は、入射面202と、出射面203とを含む。入射面202は、幅方向の中心位置に入射光207を入射させる入射部（図示せず）に対向する。出射面203は、幅方向の中心に対して対称な位置から出射する8個の出射光208を受光する受光部220に対向する。また、実施の形態2に係る光デバイス200は、アレーO/E変換部221と、出力電気線（バス）222とを備える。アレーO/E変換部221は、8個の受光部220を含む。アレーO/E変換部221は、出力電気線222に接続される。

【0118】

実施の形態2において、スラブ長Lを、ほぼ  $n_0 \times W_0^2 / (8\lambda)$  に一致させ、8個の出射光208の出射位置間隔D1を、ほぼ  $W_0 / 8$  に一致させている。スラブ長L及び出射位置間隔D1をこれらの値に設定することにより、出射面に8個の入射光と同じ像が、幅方向の中心に対称にほぼ  $W_0 / 8$  だけ離れた間隔に形成される。実施の形態2に係る屈折率分布スラブ導波路201は、この出射面203に形成された8個の像を、8個の出射光208として出力している。8個の出射光208は、入射光207と同じ像を出力したものであるため、それぞれ同じプロファイルを持つ。なお、セルフイメージング原理によれば、以下に示す数式の値の長さ毎に同様の現象が現れるので、整数pを変化させることによりスラブ長Lを用途に応じて調節することができる。なお、詳細な8分岐のメカニズムおよび、高速伝送であっても厚さ方向と幅方向で光信号波形の乱れが無いメカニズムは、実施の形態1と同様である。

【数 26】

$$\left(p \pm \frac{1}{8}\right) \frac{nW_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかつこ内を正にする整数})$$

【0119】

以上の構成により、入射光 207 は、光信号として入射面 202 の幅方向の中心に入射し、屈折率分布スラブ導波路 201 の内部を伝送される。光信号は、屈折率分布スラブ導波路 201 の内部で、MMI のセルフイメージング原理に従って 8 分岐され、出射面 203 の幅方向に離れた位置から 8 個の出射光 208 として出射し 8 個の受光部 220 に至る。各受光部 220 で受光した光信号は、アレー O/E 変換部 221 で電気信号に変化され、出力電気線（バス）222 から外部へ出力される。

【0120】

また、実施の形態 2 に係る光デバイスは、出射面から出射した出射光 208 を受光する受光部 220 がアレー O/E 変換部 221 に形成され、アレー O/E 変換部 221 が出力電気線 222 に接続されている。この構成により、屈折率分布スラブ導波路 201 から出力される出射光が省スペースで電気信号に変換されるため、出射光を光ファイバー等に接続するカップラが不要となる。したがって、実施の形態 2 に係る光デバイスは、調整容易でコンパクトに構成することができる。

【0121】

以上のように、実施の形態 2 の光 8 分岐デバイスは、以下の式で表される値のスラブ長  $L$  を持つ屈折率分布スラブ導波路を有しているため、屈折率分布スラブ導波路の入射面の幅方向の中心に入射した入射光を、出射面の幅方向の中心に対称に 8 個の出射光を生成して出力することができる。

【数 27】

$$\left(p \pm \frac{1}{8}\right) \frac{nW_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかつこ内を正にする整数})$$

なお、実施の形態 2 の光 8 分岐デバイスの入射面と出射面とを入れ替えて、光 8 合成デバイスとして使用することができる。この場合は、入射面の幅方向の中心位置に対称に 8 個の入射光を入射させ、出射面の幅方向の中心に 1 個の出射光を出射させる。光 8 合成デバイスのスラブ長  $L$  は、光 2 分岐デバイスのスラブ長  $L$  と等しい。

【0122】

実施の形態 1 は光 2 分岐デバイスの例、実施の形態 2 は光 8 分岐の例を示したが、一般に光  $N$  分岐デバイス ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) についても同様に設計することが可能である。この場合、以下の式の値を満足するスラブ長  $L$  を持つ屈折率分布スラブ導波路の入射面の幅方向の中心位置に 1 個の入射光を入射させることにより、出射面の幅方向の中心対称に  $N$  個の出射光を得ることができる。

【数 28】

$$\left(p \pm \frac{1}{N}\right) \frac{nW_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかつこ内を正にする整数})$$

光  $N$  合成デバイスの場合、同様のスラブ長を持つ屈折率分布スラブ導波路の入射面の幅方向の中心対称に  $N$  個の入射光を入射させることにより、出射面の中心に 1 個の出射光を得ることができる。

【0123】

(実施の形態 3)

図 3 は、本発明の実施の形態 3 に係る光デバイスである 2 信号ストレートシートバスの

出証特 2004-3055170

概要を示す斜視図である。実施の形態 3 に係る光デバイスは、光を伝送する屈折率分布スラブ導波路 301 を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路 301 は、図 3 に示すように、 $xz$  平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路 301 は、厚さ方向の中心に最大屈折率  $n_0$  を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない分布を有する。屈折率分布スラブ導波路 301 は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。実施の形態 3 に係る光デバイスは、アレー E/O 変換部 332 と、入力電気線（バス）333 と、アレー O/E 変換部 336 と、出力電気線（バス）337 とを備える。

#### 【0124】

アレー E/O 変換部 332 は、第 1 の発光部 330 と、第 2 の発光部 331 を含む。第 1 の発光部 330 は、屈折率分布スラブ導波路 301 の入射面 302 において幅方向の任意の位置に第 1 光 338（波長： $\lambda$ ）を入射させる。第 2 の発光部 331 は、屈折率分布スラブ導波路 301 の入射面において幅方向の任意の位置に、第 1 光と同一波長の第 2 光 339 を入射させる。また、アレー E/O 変換部 332 は、入力電気線（バス）333 と接続される。アレー E/O 変換部 332 は、入力電気線 333 から入力される外部電気信号を、第 1 の発光部 330 と第 2 の発光部 331 とから放射される光信号に変換する。

#### 【0125】

アレー O/E 変換部 336 は、第 1 の受光部 334 と、第 2 の受光部 335 とを含む。第 1 の受光部 334 は、屈折率分布スラブ導波路 301 の出射面 303 において第 1 の発光部 330 と幅方向の位置が同一である位置に配置される。第 2 の受光部 335 は、屈折率分布スラブ導波路 301 の出射面において第 2 の発光部 331 と幅方向の位置が同一である位置に配置される。また、アレー O/E 変換部 336 は、出力電気線（バス）337 と接続される。アレー O/E 変換部 336 は、第 1 の受光部 334 と第 2 の受光部 335 とで受光する光信号を電気信号に変換し、出力電気線 337 へ出力する。

#### 【0126】

屈折率分布スラブ導波路 301 は、スラブ長  $L$  を、ほぼ  $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$  に一致させている。屈折率分布スラブ導波路 301 のスラブ長  $L$  は、実施の形態 1 で説明した（1）非対称入射の（数 2）において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。スラブ長  $L$  をこのように設定することにより、第 1 の発光部 330 から入射した第 1 光 338 は、第 1 の受光部 334 付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。同様に、第 2 の発光部 331 から入射した第 2 光 339 は、第 2 の受光部 335 付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。なお、セルフイメージング原理によれば  $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$  の長さ毎に同様の現象が現れるので、スラブ長  $L$  を  $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$  の整数倍にすることにより、用途に応じて屈折率分布スラブ導波路 301 の長さを調節することができる。なお、詳細な分岐のメカニズムおよび、高速伝送であっても厚さ方向と幅方向で光信号波形の乱れが無いメカニズムは、実施の形態 1 と同様である。

#### 【0127】

以上の構成により、入力電気線 333 から外部電気信号がアレー E/O 変換部 332 に入力されると、アレー E/O 変換部 332 は、外部電気信号を第 1 の発光部 330 から放射される第 1 光 338 と第 2 の発光部 331 とから放射される第 2 光 339 とに変換する。第 1 の発光部 330 から放射された第 1 光 338 は、入射面 302 から屈折率分布スラブ導波路 301 に入射して伝送される。第 1 光 338 は、セルフイメージング原理に従って、第 1 の受光部 334 付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第 1 光 338 は、出射面 303 から第 1 の受光部 334 へ出力される。一方、第 2 の発光部 331 から放射された第 2 光 339 は、入射面 302 から屈折率分布スラブ導波路 301 に入射して伝送される。第 2 光 339 は、セルフイメージング原理に従って、第 2 の受光部 335 付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第 2 光 339 は、出射面 303 から第 1 の受光部 335 へ出力される。第 1 の受光部 334 は、受光した第 1 光 338 に応じた電気信号を出力する。第 2 の受光部 335 は、受光した第 2 光 339 に応じた電気信号を出力する。出力された電気信号は、出力電気線

337から外部へ出力される。このように、MMIを利用することで、2個の光信号をストレーツに伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1個の屈折率分布スラブ導波路301で独立して伝送することができる。

【0128】

図4は、本発明の実施の形態3の変形例に係る光デバイスである8信号ストレーツシートバスの概要を示す斜視図である。変形例の光デバイスは、前述した2信号ストレーツシートバスと概略構成を同じくする。変形例の光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路401と、アレーE/O変換部432と、入力電気線（バス）333と、アレーO/E変換部436と、出力電気線（バス）337とを備える。アレーE/O変換部432は、2信号ストレーツシートバスのアレーE/O変換部332と概略同一の構成を有するが、第1の発光部330及び第2の発光部331の代わりに8個の発光部からなる発光部群446が形成されている点で相違する。また、アレーO/E変換部436は、2信号ストレーツシートバスのアレーO/E変換部336と概略同一の構成を有するが、第1の受光部334及び第2の受光部335の代わりに8個の受光部からなる受光部群447が形成されている点で相違する。発光部群446に含まれる発光部は、すべて受光部群447に含まれる受光部と幅方向の位置が対応している。

【0129】

発光部群446は、入力電気線333から入力された外部電気信号に基づいて、すべて同一波長の8個の光信号である第1光438～第8光445を、入射面402からそれぞれ独立に屈折率分布スラブ導波路401へ入射させる。屈折率分布スラブ導波路401は、第1光438～第8光445を伝送する。第1光438～第8光445は、屈折率分布スラブ導波路301の場合と同様に、出射面403から出射され受光部群447の内の幅方向の位置が同一である受光部へ受光される。8個の入射光が独立して出射端の幅方向の平行位置に現れる原理は、実施の形態1で説明した（1）非対称入射の（数2）において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。このように、MMIを利用することで、8個の光信号をストレーツに伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1個の屈折率分布スラブ導波路401で独立して伝送することができる。

【0130】

実施の形態3は2信号ストレーツシートバス及び8信号ストレーツシートバスの例を示したが、一般にN信号ストレーツシートバス（N=1, 2, 3・・・）についても同様に設計することが可能である。この場合、ほぼ以下の式の整数倍の値であるスラブ長Lを持つ屈折率分布スラブ導波路の入射面の任意の位置にN個の入射光を入射させることにより、出射面の幅方向の位置が同一の位置からN個の出射光を得ることができる。

【数29】

$$\frac{8n_0W_0^2}{\lambda}$$

【0131】

（実施の形態4）

図5は、本発明の実施の形態4に係る光デバイスである2信号クロスシートバスの概要を示す斜視図である。実施の形態4に係る光デバイスは、光を伝送する屈折率分布スラブ導波路501を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路501は、図5に示すように、xz平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路501は、厚さ方向の中心に最大屈折率  $n_0$  を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない分布を有する。屈折率分布スラブ導波路501は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。実施の形態5に係る光デバイスは、アレーE/O変換部532と、入力電気線（バス）333と、アレーO/E変換部536と、出力電気線（バス）337とを備える。

【0132】

アレーE/O変換部532は、第1の発光部530と、第2の発光部531を含む。第

1の発光部530は、屈折率分布スラブ導波路501の入射面において幅方向の任意の位置に第1光538(波長: $\lambda$ )を入射させる。第2の発光部531は、屈折率分布スラブ導波路501の入射面において幅方向の任意の位置に第1光と同一波長の第2光539を入射させる。また、アレーE/O変換部532は、入力電気線(バス)333と接続される。アレーE/O変換部532は、入力電気線333から入力される外部電気信号を、第1の発光部530と第2の発光部531とから放射される光信号に変換する。

#### 【0133】

アレーO/E変換部536は、第1の受光部534と、第2の受光部535とを含む。第1の受光部534は、屈折率分布スラブ導波路501の出射面において第2の発光部531と幅方向の中心に対して対称な位置に配置される。第2の受光部535は、屈折率分布スラブ導波路501の出射面において第1の発光部530と幅方向の中心に対して対称な位置に配置される。また、アレーO/E変換部536は、出力電気線(バス)337と接続される。アレーO/E変換部536は、第1の受光部534と第2の受光部535とで受光する光信号を電気信号に変換し、出力電気線337へ出力する。

#### 【0134】

屈折率分布スラブ導波路501は、スラブ長 $L$ を、ほぼ $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ に一致させている。屈折率分布スラブ導波路501のスラブ長 $L$ は、実施の形態1で説明した(1)非対称入射の(数3)において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。スラブ長 $L$ をこのように設定することにより、第1の発光部530から放射され、入射面502から入射した第1光538は、第1の受光部534付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。同様に、第2の発光部531から放射され、入射面502から入射した第2光539は、第2の受光部535付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。なお、セルフイメージング原理によれば $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の長さ毎に同様の現象が現れるので、スラブ長 $L$ を $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の奇数倍にすることにより、用途に応じて屈折率分布スラブ導波路501の長さを調節することができる。なお、詳細な分岐のメカニズムおよび、高速伝送であっても厚さ方向と幅方向で光信号波形の乱れが無いメカニズムは、実施の形態1と同様である。

#### 【0135】

以上の構成により、入力電気線333から外部電気信号がアレーE/O変換部532に入力されると、アレーE/O変換部532は、外部電気信号を第1の発光部530から放射される第1光538と第2の発光部531とから放射される第2光539とに変換する。第1の発光部530から放射された第1光538は、入射面502から屈折率分布スラブ導波路501に入射して伝送される。第1光538は、セルフイメージング原理に従って、第1の受光部534付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第1光538は、出射面503から出射され第1の受光部534で受光される。一方、放射された第2光539は、入射面502から屈折率分布スラブ導波路501に入射して伝送される。第2光539は、セルフイメージング原理に従って、第2の受光部535付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第2光539は、出射面503から出射され第2の受光部535で出力される。第1の受光部534は、受光した第1光538に応じた電気信号を出力する。第2の受光部535は、受光した第2光539に応じた電気信号を出力する。出力された電気信号は、出力電気線337から外部へ出力される。このように、MMIを利用することで、2個の光信号をクロスさせて伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1個の屈折率分布スラブ導波路501で独立して伝送することができる。

#### 【0136】

図6は、本発明の実施の形態4の変形例に係る光デバイスである8信号クロスシートバスの概要を示す斜視図である。変形例の光デバイスは、前述した2信号クロスシートバスと概略構成を同じくする。変形例の光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路601と、アレーE/O変換部632と、入力電気線(バス)333と、アレーO/E変換部636と、出力電気線(バス)337とを備える。アレーE/O変換部632は、2信号クロスシ

ートバスのアレー E/O 変換部 532 と概略同一の構成を有するが、第 1 の発光部 530 及び第 2 の発光部 531 の代わりに 8 個の発光部からなる発光部群 646 が形成されている点で相違する。また、アレー O/E 変換部 636 は、2 信号ストレートバスのアレー O/E 変換部 536 と概略同一の構成を有するが、第 1 の受光部 534 及び第 2 の受光部 535 の代わりに 8 個の受光部からなる受光部群 647 が形成されている点で相違する。発光部群 640 に含まれる発光部は、すべて受光部群 647 に含まれる受光部と幅方向の中心に対して対称な位置に配置されている。

#### 【0137】

発光部群 646 は、入力電気線 333 から入力された外部電気信号に基づいて、すべて同一波長の 8 個の光信号である第 1 光 638 ～第 8 光 645 をそれぞれ独立に、入射面 502 から屈折率分布スラブ導波路 601 へ入射させる。屈折率分布スラブ導波路 601 は、第 1 光 638 ～第 8 光 645 を伝送する。第 1 光 638 ～第 8 光 645 は、屈折率分布スラブ導波路 501 の場合と同様に、出射面 603 から出射され受光部群 647 の内の幅方向の中心に対称な受光部から出力される。8 個の入射光が独立して出射端の幅方向の平行位置に現れる原理は、実施の形態 1 で説明した (1) 非対称入射の (数 3) において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。このように、MMI を利用することで、8 個の光信号をクロスして伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1 個の屈折率分布スラブ導波路 601 で独立して伝送することができる。

#### 【0138】

実施の形態 3 は 2 信号クロスシートバス及び 8 信号クロスシートバスの例を示したが、一般に N 信号クロスシートバス (N=1, 2, 3, ...) についても同様に設計することが可能である。この場合、ほぼ以下の式の奇数倍の値であるスラブ長 L を持つ屈折率分布スラブ導波路の入射面の任意の位置に N 個の入射光を入射させることにより、出射面の幅方向の中心に対称な位置と同一の位置から N 個の出射光を得ることができる。

#### 【数 30】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

#### 【0139】

##### (実施の形態 5)

図 7 は、本発明の実施の形態 5 に係る光デバイスである 2 信号スターカブラの概要を示す斜視図である。実施の形態 5 に係る光デバイスは、光を伝送する屈折率分布スラブ導波路 701 を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路 701 は、図 7 に示すように、x-z 平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路 701 は、厚さ方向の中心に最大屈折率  $n_0$  を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない分布を有する。屈折率分布スラブ導波路 701 は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。実施の形態 5 に係る光デバイスは、アレー E/O 変換部 732 と、入力電気線 (バス) 333 と、アレー O/E 変換部 736 と、出力電気線 (バス) 337 とを備える。

#### 【0140】

アレー E/O 変換部 732 は、第 1 の発光部 730 と、第 2 の発光部 731 を含む。第 1 の発光部 730 は、屈折率分布スラブ導波路 701 の入射面において幅方向の中心から所定の距離だけ離れた位置に第 1 光 738 (波長:  $\lambda$ ) を入射させる。第 2 の発光部 731 は、屈折率分布スラブ導波路 701 の入射面において第 1 の発光部 730 と幅方向の中心に対して対称な位置に第 1 光と同一波長の第 2 光 739 を入射させる。また、アレー E/O 変換部 732 は、入力電気線 (バス) 333 と接続される。アレー E/O 変換部 732 は、入力電気線 333 から入力される外部電気信号を、第 1 の発光部 730 と第 2 の発光部 731 とから放射される光信号に変換する。

#### 【0141】

アレー O/E 変換部 736 は、第 1 の受光部 734 と、第 2 の受光部 735 とを含む。

第1の受光部734は、屈折率分布スラブ導波路701の出射面において第1の発光部730と幅方向の位置が同一である位置に配置される。第2の受光部735は、屈折率分布スラブ導波路701の出射面において第2の発光部731と幅方向の位置が同一である位置に配置される。また、アレーO/E変換部736は、出力電気線(バス)337と接続される。アレーO/E変換部736は、第1の受光部734と第2の受光部735とで受光する光信号を電気信号に変換し、出力電気線337へ出力する。

#### 【0142】

屈折率分布スラブ導波路701は、スラブ長 $L$ を、ほぼ $2 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ に一致させている。屈折率分布スラブ導波路701のスラブ長 $L$ は、実施の形態1で説明した(1)非対称入射の(数4)において、 $p=0$ 及び $N=2$ として、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。スラブ長 $L$ をこのように設定することにより、第1の発光部730から放射され、入射面702から入射した第1光738は、第1の受光部734及び第2の受光部735付近に、入射した際と同じプロファイルを持つ2個の像を形成する。同様に、第2の発光部731から放射され入射面702から入射した第2光739は、第1の受光部734及び第2の受光部735付近に入射した際と同じプロファイルを持つ2個の像を形成する。なお、セルフイメージング原理によれば以下に示す数式の値の長さ毎に同様の現象が現れるので、スラブ長 $L$ を(数10)の $p$ の値を変化させることにより、用途に応じて屈折率分布スラブ導波路701の長さを調節することができる。

#### 【数31】

$$\left(p \pm \frac{1}{2}\right) \frac{4n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (p \text{はかつこ内を正にする整数})$$

なお、詳細な分岐のメカニズムおよび、高速伝送であっても厚さ方向と幅方向で光信号波形の乱れが無いメカニズムは、実施の形態1と同様である。

#### 【0143】

以上の構成により、入力電気線333から外部電気信号がアレーE/O変換部732に入力されると、アレーE/O変換部732は、外部電気信号を第1の発光部730から放射される第1光738と第2の発光部731とから放射される第2光739とに変換する。第1の発光部730から放射された第1光738は、入射面702から屈折率分布スラブ導波路701に入射して伝送される。第1光738は、セルフイメージング原理に従って、第1の受光部734及び第2の受光部735付近に入射した際と同じプロファイルを持つ2個の像を形成する。これにより、第1光738は、出射面703から出射し第1の受光部734及び第2の受光部735へ出力される。一方、第2の発光部731から放射された第2光739は、入射面702から屈折率分布スラブ導波路701に入射して伝送される。第2光739は、セルフイメージング原理に従って、第1の受光部734及び第2の受光部735付近に入射した際と同じプロファイルを持つ2個の像を形成する。これにより、第2光739は、出射面703から出射し第2の受光部735へ出力される。第1の受光部734は、受光した第1光738に応じた電気信号を出力する。第2の受光部735は、受光した第2光739に応じた電気信号を出力する。出力された電気信号は、出力電気線337から外部へ出力される。このように、MMIを利用することで、1個の屈折率分布スラブ導波路701により2信号スターカブラを実現することができる。

#### 【0144】

以上の2信号スターカブラは、2個の光信号を幅方向の対称位置に入射し、2個の光信号を幅方向の対称位置に出射する光デバイスであったが、2個以上の光信号を入出力することも可能である。 $N$ ( $N$ は偶数)個の光信号を幅方向の対称位置に入射し、 $N$ 個の光信号を幅方向の対称位置に出射するスターカブラの場合、屈折率分布スラブ導波路のスラブ長 $L$ は、以下の数式を満足する。

【数 3 2】

$$\left( p \pm \frac{1}{N_{\text{EVEN}}} \right) \frac{4n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかつこ内を正にする整数, } N_{\text{EVEN}} = 2, 4, 6 \dots)$$

上記数式において、 $p$  は整数であるので、 $p$  を変化させることにより屈折率分布スラブ導波路のスラブ長  $L$  を所望の長さに調整することができる。特に、長さを調整する必要がない場合は、 $p = 0$  とすることにより、最短の屈折率分布スラブ導波路を得ることができる。

【0145】

一方、 $N$  ( $N$  は奇数) 個の光信号を入射し  $N$  個の光信号を出射するスターカブラの場合、屈折率分布スラブ導波路のスラブ長  $L$  は、以下の数式の値を満足する。

【数 3 3】

$$\left( p \pm \frac{1}{N_{\text{ODD}}} \right) \frac{4n_0 W_0^2}{\lambda} \quad (p \text{ はかつこ内を正にする整数, } N_{\text{ODD}} = 3, 5, 7 \dots)$$

上記数式は、偶数個の場合と形式は同一である。しかしながら、 $N$  が奇数の場合、入出射される光信号の位置は幅方向に対称ではない。図 19 は、本発明に係る 3 個の入出力光を持つスターカブラの屈折率分布スラブ導波路を示す上面図である。図 19 において、すべて同一の波長  $\lambda$  を有する第 1 光 1902 と、第 2 光 1903 と、第 3 光 1904 とは、屈折率分布スラブ導波路 1901 の入射面から入射する。第 1 光 1902 は、屈折率分布スラブ導波路 1901 の長さ方向に平行な一方の面から  $X$  だけ離れた位置に入射する。第 2 光 1903 は、屈折率分布スラブ導波路 1901 の長さ方向に平行な一方の面から  $2W/3$  ( $W$  はスラブ幅) だけ離れた位置を基準に、さらに  $X$  だけ一方の面側へ離れた位置に入射する。第 3 光 1904 は、屈折率分布スラブ導波路 1901 の長さ方向に平行な一方の面から  $2W/3$  ( $W$  はスラブ幅) だけ離れた位置を基準に、さらに  $X$  だけ他方の面側へ離れた位置に入射する。

【0146】

以上の入射位置を持つ 3 個の光信号が、入射面から入射され前述の (数 1 2) を満足するスラブ長  $L$  を有する屈折率分布スラブ導波路を伝送すると、第 1 光 1902 と、第 2 光 1903 と、第 3 光 1904 とは、それぞれ屈折率分布スラブ導波路 1901 の長さ方向に平行な他方の面から  $X$  だけ離れた位置と、屈折率分布スラブ導波路 1901 の長さ方向に平行な一方の面から  $W/3$  ( $W$  はスラブ幅) だけ離れた位置を基準に、さらに  $X$  だけ他方の面側へ離れた位置と、さらに  $X$  だけ一方の面側へ離れた位置との 3 箇所に、入射した際と同一のプロファイルを持つ 3 個の像を形成する。したがって、各光信号の像の位置に受光部を形成すると、各出射光を出力させることができる。

【0147】

以上の例は、 $N = 3$  の場合であったが、 $N$  が 3 以上の奇数の場合も、(数 1 2) を満足する屈折率分布スラブ導波路により、幅方向の中心に対して非対称の光信号の入力に対応して、幅方向の中心に対して非対称の出力を得るスターカブラを構成することができる。このように、 $N$  が奇数の場合も MMI のセルフイメージング原理を用いて、スターカブラを実現することができる。なお、上記 (数 1 2) において、 $p$  は整数であるので、 $p$  を変化させることにより屈折率分布スラブ導波路のスラブ長  $L$  を所望の長さに調整することができる。特に、長さを調整する必要がない場合は、 $p = 0$  とすることにより、最短の屈折率分布スラブ導波路を得ることができる。

【0148】

(実施の形態 6)

図 8 (a) は、本発明の実施の形態 6 に係る光デバイスである片側制御型光スイッチの概要を示す斜視図である。実施の形態 6 に係る光デバイスは、光を伝送する第 1 の屈折率



分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bを中心に構成される。第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、図8(a)に示すように、共にxz平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、同一の幅方向の大きさを有する。第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、幅方向に連続して接続されて配置される。また、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、所定の熱光学効果を呈するポリマーとなる。

#### 【0149】

第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aは、入射面801に入射光804を入射させるための入射位置と、出射面802に出射光809を出射させるための出射位置とを有する。入射位置と出射位置とは、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bを一つのスラブ導波路801としたときの幅方向の中心から離れた位置にあり、互いに幅方向の位置が同一である。第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、出射面802に出射光808を出射させるための出射位置を有する。第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの出射位置は、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの出射位置に対して、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bを一つのスラブ導波路としたときの幅方向の中心に対称になる位置に配置される。また、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、上面に冷熱シート805を有する。冷熱シート805は、接続線806により温度制御部807に接続される。

#### 【0150】

温度制御部807は、外部から供給される制御信号に基づいて冷熱シート805を温度制御する。冷熱シート805が温度制御されることにより、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの温度を変化するので、熱光学効果に基づいて屈折率の絶対値が変化する。実施の形態6の光デバイスは、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの屈折率分布が一致するように構成されている。このとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、共に厚さ方向の中心に最大屈折率 $n_0$ を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない分布を有する。またこのとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。そして、実施の形態6の光デバイスは、温度制御部807がON状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの最大屈折率が、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの最大屈折率の絶対値より大きくなり、互いの屈折率分布全体が異なるように構成されている。

#### 【0151】

第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、スラブ長 $L$ を、ほぼ $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ に一致させている。第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bのスラブ長 $L$ は、実施の形態1で説明した(1)非対称入射の(数3)において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。なお、セルフイメージング原理によれば $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の長さ毎に同様の現象が現れるので、スラブ長 $L$ を $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の奇数倍にすることにより、用途に応じて第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの長さを調節することができる。

#### 【0152】

次に、上記構造で光進路方向を変化させる光スイッチのメカニズムを説明する。温度制御部807がOFF状態の時、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの入射位置から入射した入射光804は、共に同一の屈折率分布を持つため第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bを一つのスラブ導波路

として伝送される。したがって、実施の形態1で説明した(1)非対称入射の(数4)に従って、出射面803における幅方向の位置が入射位置に対して中心に対称になる出射位置に入射光と同じプロファイルの像を形成する。この像が出射光808として出射される。

#### 【0153】

一方、温度制御部807がON状態の時、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの最大屈折率が、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの最大屈折率より大きくなるので、所定の屈折率差を満足させることにより、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aに対してクラッドとして機能する。したがって、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの入射位置から入射した入射光804は、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの境界面での全反射により、出射面803まで第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aに閉じ込められる。この結果、出射光808は、出射面803から出射される。

#### 【0154】

以上のようにして、温度制御部807のON-OFFスイッチング制御によって、入射光804の進行方向を変更することができる光スイッチを実現することができる。なお、実施の形態6の光デバイスは、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの屈折率分布が一致するように構成されている例であったが、温度制御部807がON状態のとき、屈折率分布が一致するように構成してもよい。この場合は、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの最大屈折率が、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの最大屈折率より低くなり、互いの屈折率分布が異なるように構成するとよい。ただし、この構成の場合を採用した場合、温度制御部807がON状態のとき、第2の屈折率分布スラブ導波路801bから出射光808が出射され、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ導波路801aから出射光809が出射される。

#### 【0155】

図8(b)は、本発明の実施の形態6の変形例1に係る光デバイスである両側制御型光スイッチの概要を示す斜視図である。実施の形態6の変形例1は、先に説明した光デバイスと概略構成が同一であるので、異なる部分のみを説明する。なお、同一の符号は同一の構成であることを示している。

#### 【0156】

実施の形態6の変形例1において、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bは、冷却シート805を有し、接続線806によって温度制御部807と接続されている。実施の形態6の変形例1の光デバイスは、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの屈折率分布が一致するように構成されている。そして、温度制御部807がON状態のとき、双方の温度を逆相で制御して、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの最大屈折率を大きくし、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの最大屈折率を小さくして、互いの屈折率分布が異なるように構成している。このように、構成することにより、片側制御型よりも高速にスイッチングすることができる。なお、実施の形態6の変形例1において、温度制御部807がON状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの屈折率分布が一致するように構成してもよい。この場合、温度制御部807がOFF状態のとき、双方の温度を逆相で制御して、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの最大屈折率を大きくし、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの最大屈折率を小さくして、互いの屈折率分布が異なるように構成するとよい。

#### 【0157】

図20(a)は、本発明の実施の形態6の変形例2に係る光デバイスである片側制御型

光スイッチの概要を示す斜視図である。実施の形態6の変形例2は、先に説明した実施の形態6の光デバイスと概略構成が同一であるので、異なる部分のみを説明する。なお、同一の符号は同一の構成であることを示している。

【0158】

実施の形態6の変形例2において、第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001aの幅方向の大きさは、第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001aと第2の屈折率分布スラブ部分導波路2001bを一つの光導波路としたときの $1/\sqrt{2}$ 倍である。また、実施の形態6の変形例2において、温度制御部807がON状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路801aの最大屈折率が、第2の屈折率分布スラブ部分導波路801bの最大屈折率より大きくなり、互いの屈折率分布全体が異なるように構成されている。このように構成することにより、温度制御部807がON状態の場合、実施の形態6の変形例2に係る第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001aは、幅方向の大きさが $1/\sqrt{2}W$ である屈折率分布スラブ導波路として機能し、基本モードの大きさも $1/\sqrt{2}W_0$ となる。第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001aのスラブ長 $L$ が、ほぼ $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ に一致している場合は、出射光809が出射面2003において入射位置と幅方向の位置が同一である出射位置に入射光804と同一のプロファイルを持つ像を形成する条件を満足する。このため、実施の形態6の変形例2に係る光デバイスは、温度制御部807がON状態の場合にもマルチモード干渉のセルフイメージング原理により入射光と同一のプロファイルをもつ出射光を生成することができる。

【0159】

なお、実施の形態6の変形例2に係る光デバイスは、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001a及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路2001bの屈折率分布が一致するように構成されている例であったが、温度制御部807がON状態のとき、屈折率分布が一致するように構成してもよいことはいうまでもない。ただし、この構成の場合を採用した場合、温度制御部807がON状態のとき、第2の屈折率分布スラブ導波路2001bから出射光808が出射され、温度制御部807がOFF状態のとき、第1の屈折率分布スラブ導波路2001aから出射光809が出射される。

【0160】

図20(b)は、本発明の実施の形態6の変形例3に係る光デバイスである両側制御型光スイッチの概要を示す斜視図である。実施の形態6の変形例2は、先に説明した実施の形態6の変形例1と変形例2とを組み合わせた光デバイスである。なお、同一の符号は同一の構成であることを示している。

【0161】

実施の形態6の変形例3に係る光デバイスは、第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001aの幅方向の大きさは、第1の屈折率分布スラブ部分導波路2001aと第2の屈折率分布スラブ部分導波路2001bを一つの光導波路としたときの $1/\sqrt{2}$ 倍であり、第2の屈折率分布スラブ部分導波路2001bも接続線806によって温度制御部807と接続されている。この構成により、温度制御部807からの信号に基づくON-OFFスイッチング制御を高速に行うことができ、ON状態及びOFF状態のいずれの状態においてもマルチモード干渉のセルフイメージング原理によって生成された出射光を得ることができる。

【0162】

なお、実施の形態6のすべての説明において、熱光学効果の大きなポリマーを使用して屈折率制御を行う例示したが、電気光学効果など、第1及び第2の屈折率分布スラブ部分導波路のそれぞれの屈折率を個別に変化させる方法であれば何でも良い。

【0163】

(実施の形態7)

図9は、本発明の実施の形態7に係る光集積デバイスである光スイッチアレーの概要を示す斜視図である。実施の形態7の光スイッチアレーは、実施の形態6の変形例1に記載

した光スイッチ（図 8（b））を屈折率分布スラブ導波路 801 の厚さ方向に 8 個積層した積層光スイッチ群 901 を備える。積層光スイッチ群 901 に含まれる各光スイッチにおいて、実施の形態 6 において説明した第 1 の屈折率分布スラブ部分導波路 801a に相当する部分が図中下側に配置されている。実施の形態 7 に係る光集積デバイスは、第 1 アレー O/E 変換部 905 と、第 2 アレー O/E 変換部 906 と、第 1 出力電気線（バス）907 と、第 2 出力電気線（バス）908 とを含む。

【0164】

第 1 アレー O/E 変換部 905 は、各光スイッチの第 1 の屈折率分布スラブ部分導波路 801a に相当する出射部に対向して設けられた 8 個の受光部からなる第 1 受光部群 903 を有する。また、第 1 アレー O/E 変換部 905 は、第 1 出力信号線 908 に接続されている。第 2 アレー O/E 変換部 906 は、各光スイッチの第 2 の屈折率分布スラブ部分導波路 801b に相当する出射部に対向して設けられた 8 個の受光部からなる第 2 受光部群 904 を有する。また、第 2 アレー O/E 変換部 906 は、第 2 出力信号線 908 に接続されている。ここでは、温度制御部が ON 状態のとき第 1 の屈折率分布部分導波路側から出射光が出射し、温度制御部が OFF 状態のとき第 1 の屈折率分布部分導波路側から出射光が出射するように構成されている。

【0165】

以上の構成において、積層光スイッチ 901 に含まれる各光スイッチの第 1 の屈折率分布スラブ部分導波路に相当する部分（図中下側）にアレー入射光 902 を入射させ、長さ方向に伝送させる。各光スイッチは、それぞれ独立に実施の形態 6 で説明した温度制御部の制御に基づいてスイッチングを行う。温度制御部が ON 状態のとき、各光スイッチからの出射光は、第 1 アレー O/E 変換部 905 の第 1 受光部群 903 に含まれる受光部へ入射する。また、温度制御部が OFF 状態のとき、各光スイッチからの出射光は、第 2 アレー O/E 変換部 906 の第 2 受光部群 904 に含まれる受光部へ入射する。

【0166】

第 1 アレー O/E 変換部 905 及び第 2 アレー O/E 変換部 906 は、各受光部へ出射光が出射された場合は 1 信号を、各受光部へ出射光が出射されなかった場合は 0 信号をそれぞれ割り当てる。第 1 アレー O/E 変換部 905 において割り当てられた信号は、出力信号として第 1 出力電気線 907 により外部へ出力される。第 2 アレー O/E 変換部 906 において割り当てられた信号は、出力信号として第 2 出力電気線 908 により外部へ出力される。このように、信号を割り当てることにより、8 桁のデジタル信号とその反転信号をパラレルに伝送することができる。

【0167】

なお、アレー入射光 902 は、アレー型の発光素子から放射した光を直接入射させても、光ファイバ等の入射側に配置された光伝送路により外部光源からの光を入射させてもよい。また、例えば、実施の形態 2 に示した光 8 分岐の光デバイスによりアレー入射光を生成する構成でもよい。また、積層光スイッチの各スイッチ間に空気などの断熱材料や絶縁体を設けてもよい。

【0168】

（実施の形態 8）

図 10 は、本発明の実施の形態 8 に係る光デバイスである 1 対双方向ストレートシートバスの概略構成を示す斜視図である。実施の形態 8 に係る光デバイスは、実施の形態 3 において説明した 2 信号ストレートシートバスの方の光信号の伝送方向を逆転させ、双方向通信を可能にしたものである。実施の形態 8 に係る光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路 1000 を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路 1001 は、図 10 に示すように、 $xz$  平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路 1001 は、厚さ方向の中心に最大屈折率  $n_0$  を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない分布を有する。屈折率分布スラブ導波路 1001 は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。実施の形態 8 に係る光デバイスは、第 1 E/O 変換部 1006 と、第 2 E/O 変換部 1009 と、第 1 O/E 変換部 1007 と、第 2 O

／E変換部1008と、第1入力電気線（バス）1010と、第2入力電気線（バス）1011と、第1出力電気線（バス）1012と、第2出力電気線（バス）1013とを備える。

【0169】

第1E／O変換部1006は、第1の発光部1014を含む。第2E／O変換部1009は、第2の発光部1015を含む。第1の発光部1014は、屈折率分布スラブ導波路1001の第1面1002において幅方向の任意の位置に第2光1019（波長： $\lambda$ ）を入射させる。第2の発光部1015は、屈折率分布スラブ導波路1001の第2面1003において幅方向の任意の位置に、第2光1019と同一波長の第1光1018を入射させる。第1E／O変換部1006は、第1入力電気線（バス）1010と接続される。第1E／O変換部1006は、第1入力電気線（バス）1010から入力される外部電気信号を第1の発光部1014から放射される光信号に変換する。第2E／O変換部1009は、第2入力電気線（バス）1011と接続される。第2E／O変換部1009は、第2入力電気線（バス）1011から入力される外部電気信号を第2の発光部1015から放射される光信号に変換する。

【0170】

第1O／E変換部1007は、第1の受光部1016を含む。第2O／E変換部1008は、第2の受光部1017を含む。第1の受光部1016は、屈折率分布スラブ導波路1001の第1面1002において第2の発光部1015と幅方向の位置が同一になる位置に配置され、第2光1019（波長： $\lambda$ ）を受光する。第2の受光部1017は、屈折率分布スラブ導波路1001の第2面1003において第1の発光部1014と幅方向の位置が同一になる位置に、第2光1019と同一波長の第1光1018を受光する。第1O／E変換部1007は、第1出力電気線（バス）1012と接続される。第1O／E変換部1007は、受光した光信号を第1出力電気線（バス）1012により外部へ出力する外部電気信号に変換する。第2O／E変換部1008は、第2出力電気線（バス）1013と接続される。第2O／E変換部1008は、受光した光信号を第2出力電気線（バス）1013により外部へ出力する外部電気信号に変換する。

【0171】

屈折率分布スラブ導波路1001は、スラブ長 $L$ を、ほぼ $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ に一致させている。屈折率分布スラブ導波路1001のスラブ長 $L$ は、実施の形態1で説明した（1）非対称入射の（数2）において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。スラブ長 $L$ をこのように設定することにより、第1の発光部1014から入射した第1光1018は、第2の受光部1017付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。同様に、第2の発光部1015から入射した第2光1019は、第1の受光部1016付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。なお、セルフイメージング原理によれば $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の長さ毎に同様の現象が現れるので、スラブ長 $L$ を $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の整数倍にすることにより、用途に応じて屈折率分布スラブ導波路1001の長さを調節することができる。なお、詳細な分岐のメカニズムおよび、高速伝送であっても厚さ方向と幅方向で光信号波形の乱れが無いメカニズムは、実施の形態1と同様である。

【0172】

以上の構成により、第1入力電気線1010から外部電気信号が第1E／O変換部1006に入力されると、第1E／O変換部1006は、外部電気信号を第1の発光部1014から放射される第1光1018に変換する。また、第2入力電気線1011から外部信号が第2E／O変換部1009へ入力されると、第2E／O変換部1009は、外部電気信号を第2の発光部1015から放射される第2光1019に変換する。

【0173】

第1の発光部1014から放射された第1光1018は、第1面1002から屈折率分布スラブ導波路1001に入射して伝送される。第1光1018は、セルフイメージング原理に従って、第2の受光部1017付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形

成する。これにより、第1光1014は、第2面1003から第2の受光部1017へ出力される。第2の受光部1017は、受光した第1光1018に応じた電気信号を出力する。出力された電気信号は、第2出力電気線1013から外部へ出力される。一方、第2の発光部1015から放射された第2光1019は、第2面1003から屈折率分布スラブ導波路1001に入射して伝送される。第2光1019は、セルフイメージング原理に従って、第1の受光部1016付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第2光1019は、第1面1002から第1の受光部1016へ出力される。第1の受光部1016は、受光した第2光1019に応じた電気信号を出力する。第1の受光部1016は、受光した第2光1019に応じた電気信号を出力する。出力された電気信号は、第1出力電気線1012から外部へ出力される。このように、MMIは光の伝送方向に関係なく可逆であるためMMIを双方向に利用することができる。したがって、2個の光信号を双方向にストレートに伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1個の屈折率分布スラブ導波路1001で独立して双方向に伝送することができる。

#### 【0174】

図11は、本発明の実施の形態8の変形例に係る光デバイスである4対双方向ストレートシートバスの概要を示す斜視図である。変形例の光デバイスは、前述した1対双方向信号ストレートシートバスと概略構成を同じくする。変形例の光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路1101と、第1アレーE/O変換部1106と、第2アレーE/O変換部1109と、第1アレーO/E変換部1107と、第2アレーO/E変換部1108と、第1入力電気線（バス）1010と、第2入力電気線（バス）1011と、第1出力電気線（バス）1012と、第2出力電気線（バス）1013とを備える。

#### 【0175】

第1アレーE/O変換部1106は、1対双方向ストレートシートバスの第1E/O変換部1006と概略同一の構成を有するが、第1の発光部1014の代わりに4個の発光部からなる第1の発光部群1114が形成されている点で相違する。第2アレーE/O変換部1109は、1対双方向ストレートシートバスの第2E/O変換部1009と概略同一の構成を有するが、第2の発光部1015の代わりに4個の発光部からなる第2の発光部群1115が形成されている点で相違する。第1アレーO/E変換部1107は、1対双方向ストレートシートバスの第1O/E変換部1007と概略同一の構成を有するが、第1の受光部1016の代わりに4個の受光部からなる第1の受光部群1116が形成されている点で相違する。第2アレーO/E変換部1108は、1対双方向ストレートシートバスの第2O/E変換部1008と概略同一の構成を有するが、第2の受光部1017の代わりに4個の受光部からなる第2の受光部群1117が形成されている点で相違する。第1の発光部群1114に含まれる発光部は、すべて第2の受光部群1117に含まれる受光部と幅方向の位置が対応している。第2の発光部群1115に含まれる発光部は、すべて第1の受光部群1116に含まれる受光部と幅方向の位置が対応している。

#### 【0176】

第1発光部群1114は、第1入力電気線1010から入力された外部電気信号に基づいて、すべて同一波長の4個の光信号である第1光1121～第4光1124を、第1面1102からそれぞれ独立に屈折率分布スラブ導波路1121へ入射させる。屈折率分布スラブ導波路1101は、第1光1121～第4光1124を伝送する。第1光1121～第4光1124は、屈折率分布スラブ導波路1001の場合と同様に、第2面1103から出射され、第2受光部群1117の内の幅方向の位置が同一である受光部に受光される。受光された信号は、第2出力電気線1013により外部へ出力される。

第2発光部群1115は、第2入力電気線1011から入力された外部電気信号に基づいて、すべて同一波長の4個の光信号である第5光1125～第8光1128を、第2面1103からそれぞれ独立に屈折率分布スラブ導波路1101へ入射させる。屈折率分布スラブ導波路1101は、第5光1125～第8光1128を伝送する。第5光1125～第8光1128は、屈折率分布スラブ導波路1001の場合と同様に、第1面1102

から出射され、第1受光部群1116の内の幅方向の位置が同一である受光部に受光される。受光された信号は、第1出力電気線1011により外部へ出力される。

【0177】

4個の入射光が独立してそれぞれの幅方向の平行位置に現れる原理は、実施の形態1で説明した(1)非対称入射の(数2)において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。このように、MMIを利用することで、4対の光信号を双方向にストレートに伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1個の屈折率分布スラブ導波路1101で独立して伝送することができる。

【0178】

実施の形態8は1対双方向ストレートシートバス及び4対双方向ストレートシートバスの例を示したが、一般に $N \times M$ 信号ストレートシートバス( $N, M=1, 2, 3 \dots$ )についても同様に設計することが可能である。この場合、ほぼ以下の式の整数倍の値であるスラブ長 $L$ を持つ屈折率分布スラブ導波路において、第1面の任意の位置に $N$ 個、第2面の任意の位置から $M$ 個の入射光をそれぞれ入射させることにより、第2面の幅方向の位置が同一の位置から $N$ 個、第1面の幅方向の位置が同一の位置から $M$ 個の出射光を得ることができる。

【数34】

$$\frac{8n_0W_0^2}{\lambda}$$

(実施の形態9)

図12は、本発明の実施の形態9に係る光デバイスである1対双方向クロスシートバスの概略構成を示す斜視図である。実施の形態9に係る光デバイスは、実施の形態4において説明した2信号クロスシートバス的一方の光信号の伝送方向を逆転させ、双方向通信を可能にしたものである。実施の形態9に係る光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路1201を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路1201は、図12に示すように、 $xz$ 平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路1201は、厚さ方向の中心に最大屈折率 $n_0$ を有し、中心から離れるに従って屈折率が増加しない分布を有する。屈折率分布スラブ導波路1201は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。実施の形態9に係る光デバイスは、第1E/O変換部1206と、第2E/O変換部1209と、第1O/E変換部1207と、第2O/E変換部1208と、第1入力電気線(バス)1010と、第2入力電気線(バス)1011と、第1出力電気線(バス)1012と、第2出力電気線(バス)1013とを備える。

【0179】

第1E/O変換部1206は、第1の発光部1214を含む。第2E/O変換部1209は、第2の発光部1215を含む。第1の発光部1214は、屈折率分布スラブ導波路1201の第1面1202において幅方向の任意の位置に第1光1218(波長: $\lambda$ )を入射させる。第2の発光部1215は、屈折率分布スラブ導波路1201の第2面1203において幅方向の任意の位置に、第1光1218と同一波長の第2光1219を入射させる。第1E/O変換部1206は、第1入力電気線(バス)1010と接続される。第1E/O変換部1206は、第1入力電気線(バス)1010から入力される外部電気信号を第1の発光部1214から放射される光信号に変換する。第2E/O変換部1209は、第2入力電気線(バス)1013と接続される。第2E/O変換部1209は、第2入力電気線(バス)1013から入力される外部電気信号を第2の発光部1215から放射される光信号に変換する。

【0180】

第1O/E変換部1207は、第1の受光部1216を含む。第2O/E変換部1208は、第2の受光部1217を含む。第1の受光部1216は、屈折率分布スラブ導波路1201の第1面1202において第2の発光部1215と幅方向の位置が中心に対称になる位置に配置され、第2光1219(波長: $\lambda$ )を受光する。第2の受光部1217



は、屈折率分布スラブ導波路1201の第2面1203において第1の発光部1214と幅方向の位置が中心に対称になる位置に、第2光1219と同一波長の第1光1218を受光する。第1O/E変換部1207は、第1出力電気線(バス)1012と接続される。第1O/E変換部1207は、受光した光信号を第1出力電気線(バス)1012により外部へ出力する外部電気信号に変換する。第2O/E変換部1208は、第2出力電気線(バス)1011と接続される。第2O/E変換部1208は、受光した光信号を第2出力電気線(バス)1011により外部へ出力する外部電気信号に変換する。

#### 【0181】

屈折率分布スラブ導波路1201は、スラブ長 $L$ を、ほぼ $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ に一致させている。屈折率分布スラブ導波路1201のスラブ長 $L$ は、実施の形態1で説明した(1)非対称入射の(数3)において、入射光を複数にして重ね合わせた場合に相当する。スラブ長 $L$ をこのように設定することにより、第1の発光部1214から入射した第1光1218は、第2の受光部1217付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。同様に、第2の発光部1215から入射した第2光1219は、第1の受光部1216付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。なお、セルフイメージング原理によれば $8 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の長さ毎に同様の現象が現れるので、スラブ長 $L$ を $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ の奇数倍にすることにより、用途に応じて屈折率分布スラブ導波路1201の長さを調節することができる。なお、詳細な分岐のメカニズムおよび、高速伝送であっても厚さ方向と幅方向で光信号波形の乱れが無いメカニズムは、実施の形態1と同様である。

#### 【0182】

以上の構成により、第1入力電気線1010から外部電気信号が第1E/O変換部1206に入力されると、第1E/O変換部1206は、外部電気信号を第1の発光部1214から放射される第1光1218に変換する。また、第2入力電気線1013から外部信号が第2E/O変換部1209へ入力されると、第2E/O変換部1209は、外部電気信号を第2の発光部1215から放射される第2光1219に変換する。

#### 【0183】

第1の発光部1214から放射された第1光1218は、第1面1202から屈折率分布スラブ導波路1201に入射して伝送される。第1光1218は、セルフイメージング原理に従って、第2の受光部1217付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第1光1218は、第2面1203から第2の受光部1217へ出力され、第2出力電気線1011から外部へ出力される。一方、第2の発光部1215から放射された第2光1219は、第2面1203から屈折率分布スラブ導波路1201に入射して伝送される。第2光1219は、セルフイメージング原理に従って、第1の受光部1216付近に入射した際と同じプロファイルを持つ像を形成する。これにより、第2光1219は、第1面1202から第1の受光部1216へ出力される。第1受光部1216は、受光した第2光1219に応じた電気信号を出力する。第1の受光部1216は、受光した第2光1219に応じた電気信号を出力する。出力された電気信号は、第1出力電気線1012から外部へ出力される。このように、MMIは光の伝送方向に関係なく可逆であるためMMIを双方向に利用することができる。したがって、2個の光信号を双方向にクロスに伝送するのに個別の光導波路を用意する必要が無く、1個の屈折率分布スラブ導波路1201で独立して双方向に伝送することができる。

#### 【0184】

実施の形態9は1対双方向ストレートシートバスの例を示したが、一般に $N \times M$ 信号クロスシートバス( $N, M=1, 2, 3 \dots$ )についても同様に設計することが可能である。この場合、ほぼ以下の式の奇数倍の値であるスラブ長 $L$ を持つ屈折率分布スラブ導波路において、第1面の任意の位置に $N$ 個、第2面の任意の位置から $M$ 個の入射光をそれぞれ入射させることにより、第2面の幅方向の中心に対称な位置から $N$ 個、第1面の幅方向の中心に対称な位置から $M$ 個の出射光を得ることができる。



【数 35】

$$\frac{4n_0W_0^2}{\lambda}$$

【0185】

(実施の形態 10)

図 13 は、本発明の実施の形態 10 に係る光集積デバイスである 1 対双方向ストレートシートバスアレーの構成概要図である。実施の形態 10 の光集積デバイスは、図 13 に示すように実施の形態 8 の 1 対双方向ストレートシートバスを、厚さ方向に 8 個積層して形成される積層双方向ストレートシートバス 1301 を中心に構成される。実施の形態 10 に係る光集積デバイスは、積層双方向ストレートシートバス 1301 と、第 1 アレー E/O 変換部 1302 と、第 1 アレー O/E 変換部 1303 と、第 2 アレー E/O 変換部 1305 と、第 2 アレー O/E 変換部 1304 と第 1 入力電気線 (バス) 1306 と、第 2 入力電気線 (バス) 1308 と、第 1 出力電気線 (バス) 1307 と、第 2 出力電気線 (バス) 1309 とを備える。

【0186】

第 1 アレー E/O 変換部 1302 は、各双方向ストレートシートバスの一方端面 (紙面左側) に配置される 8 個の発光部をアレー化したものである。第 1 アレー O/E 変換部 1303 は、各双方向ストレートシートバスの一方端面 (紙面左側) に配置される 8 個の受光部をアレー化したものである。第 1 アレー E/O 変換部 1302 及び第 1 アレー O/E 変換部 1303 は、隣接して配置される。第 2 アレー E/O 変換部 1305 は、各双方向ストレートシートバスの他方端面 (紙面右側) に配置される 8 個の発光部をアレー化したものである。第 2 アレー O/E 変換部 1304 は、各双方向ストレートシートバスの一方端面 (紙面右側) に配置される 8 個の受光部をアレー化したものである。第 2 アレー E/O 変換部 1305 及び第 2 アレー O/E 変換部 1304 は、隣接して配置される。第 1 アレー E/O 変換部 1302 の各発光部は、第 2 アレー O/E 変換部 1304 の各受光部と、各双方向ストレートシートバスを挟んで対向して配置される。第 2 アレー E/O 変換部 1305 の各発光部は、第 1 アレー O/E 変換部 1303 の各受光部と、各双方向ストレートシートバスを挟んで対向して配置される。第 1 アレー E/O 変換部 1302 は、第 1 入力電気線 1306 に接続される。第 2 アレー E/O 変換部 1305 は、第 2 入力電気線 1308 に接続される。第 1 アレー O/E 変換部 1303 は、第 1 出力電気線 1307 に接続される。第 2 アレー O/E 変換部 1304 は、第 2 出力電気線 1309 に接続される。

【0187】

以上の構成において、第 1 入力電気線 1306 から入力された電気信号は、第 1 アレー E/O 変換部 1302 により光信号に変換される。変換された各光信号は、各発光部より放射され入射光として各各双方向ストレートシートバスに入射する。一方、第 2 入力電気線 1308 から入力された電気信号は、第 2 アレー E/O 変換部 1305 により光信号に変換される。変換された各光信号は、各発光部より放射され入射光として各各双方向ストレートシートバスに入射する。光信号は、それぞれ伝送されセルフイメージング原理に従って、入射光と同一のプロファイルを持つ像を各受光部の近傍に形成する。像は、双方向ストレートシートバスの各受光部へ出射される。出射光を各受光部で受光した第 1 アレー O/E 変換部 1303 は、出射光を電気信号に変換して第 1 出力電気線 1307 へ出力する。出射光を各受光部で受光した第 2 アレー O/E 変換部 1304 は、出射光を電気信号に変換して第 2 出力電気線 1309 へ出力する。このようにして、簡単な構成により双方向ストレートシートバスが、実現する。

【0188】

なお、実施の形態 10 は、すべてが 1 対双方向ストレートシートバスからなる積層双方向ストレートシートバスを開示したが、これに限られない。例えば、実施の形態 9 の 1 対双方向クロスシートバスを積層してもよい。また、実施の形態 8 に係る 1 対ストレートシ

ートバスと、実施の形態9に係る1対双方向クロスシートバスとの2種類を積層した双方向光バスアレーにしてもよく、実施の形態8及び実施の形態9に係る双方向シートバスと、実施の形態3及び実施の形態4に係る光シートバスの内から複数の種類の光バスを積層した複合光バスアレーにしてもよい。

#### 【0189】

##### (実施の形態11)

図14は、本発明の実施の形態11に係る光集積デバイスである多層光バスの構成概要図である。実施の形態11に係る光集積デバイスは、長さ方向の大きさが異なる屈折率分布スラブ導波路が厚さ方向に積層され形成されている。積層される屈折率分布スラブ導波路は、実施の形態1乃至5、8、9など単層の屈折率分布スラブ導波路のいずれを用いてもよい。マルチモード干渉のセルフイメージング原理に従うと、所定の周期ごとに同様の効果が現れるので、同種類の光デバイスであっても異なる長さの屈折率分布スラブ導波路を用いることができる。例えば、図14に記載された光集積デバイスは、屈折率分布スラブ導波路を用いたストレートシートバスが積層されている。光集積デバイスは、入射面が揃えられており、長さ方向の大きさが、上から順に、第1の屈折率分布スラブ導波路1401について  $L_1 = 8 \cdot n_0 W_0^2 / \lambda$  と、第2の屈折率分布スラブ導波路1402について  $L_2 = 16 \cdot n_0 W_0^2 / \lambda$  と、第3の屈折率分布スラブ導波路1403について  $L_3 = 32 \cdot n_0 W_0^2 / \lambda$  としている。このように構成することにより、異なる長さ方向の大きさを持つ各屈折率分布スラブ導波路からの出射光のプロファイルを同一にすることができる。

#### 【0190】

実際の機器間や基板間あるいは基板上に実装されるチップ間の間隔は、一定でない、したがって、実際には各種長さに対応した光シートバスが必要である。実施の形態11のように、異なる長さの光シートバスを多層化して一体化することで、基板から距離の異なる複数の基板へ光伝送することが可能となる。このとき、基板には多層光バスの端面の揃った端面140を接続し、端面の揃った側への入出力には例えば実施の形態1に係るの光N分岐器（結合器）を使用してもよい。

#### 【0191】

##### (実施の形態12)

図21(a)は、本発明の実施の形態12に係る光分波を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路2101の概要を示す斜視図である。図21(b)は、本発明の実施の形態12に係る光分波を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路2101の断面図である。図22(a)は、屈折率分布スラブ導波路2101に1.30μmの光信号を伝送させた場合のBPM(Beam Propagation Method)シミュレーション結果である。図22(b)は、屈折率分布スラブ導波路2101に1.55μmの光信号を伝送させた場合のBPMシミュレーション結果である。

#### 【0192】

実施の形態12に係る光デバイスは、光を伝送する屈折率分布スラブ導波路2101を中心に構成される。屈折率分布スラブ導波路2101は、図21(a)に示すように、x-z平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。屈折率分布スラブ導波路2101は、厚さ方向の中心位置に最大屈折率  $n_0$  を持ち、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない厚さ方向の屈折率分布を有する。屈折率分布スラブ導波路2101は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。屈折率分布スラブ導波路2101は、入射面2102と、出射面2103とを含む。

#### 【0193】

入射面2102は、幅方向の中心から所定距離離れた位置に異なる2つの波長（波長1.30μmと波長1.55μm）の光が多重された多重入射光2107を入射させる入射部（図示せず）に対向する。出射面2103は、幅方向の中心に対して対称な位置から出射する互いに異なる波長を持つ2個の出射光2108及び出射光2109を受光する出射部（図示せず）に対向する。入射部は、多重入射光2107を入射面2102の幅方向の中心から所定距離だけ離れた位置に入射させる。多重入射光2107は、屈折率分布ス

ブ導波路 101 の内部を伝送される。多重入射光 2107 は、屈折率分布スラブ導波路 2101 の内部で、後述するマルチモード干渉のセルフイメージング原理に従って波長に応じて 2 分波され、出射面 2103 の幅方向に離れた位置から互いに異なる波長（波長 1.30  $\mu\text{m}$  と波長 1.55  $\mu\text{m}$ ）を持つ 2 個の出射光 2108 及び出射光 2109 として出射し出射部に至る。屈折率分布スラブ導波路 2101 のスラブ長  $L$  は、波長 1.30  $\mu\text{m}$  の光量移動と波長 1.55  $\mu\text{m}$  の光量移動との位相差が逆相（すなわち、 $\pi$  の整数倍）になる光路長である。

#### 【0194】

屈折率分布スラブ導波路 2101 の厚さ方向の屈折率分布は、例えば、前述した（数 1）に示すように厚さ方向の中心に位置する屈折率の極大点  $n_0$  と極大点から厚さ方向に離れた距離  $r$  と屈折率分布定数  $A^{1/2}$  とで表される。

#### 【0195】

屈折率分布定数は、屈折率分布スラブ導波路 2101 中を伝送する光が、膜厚から外へ出ないように、屈折率分布スラブ導波路 2101 の膜厚と多重入射光 2107 のプロファイルとに応じて最適化される。例えば、屈折率分布スラブ導波路 2101 の膜厚に対して、多重入射光 2107 の広がり角度が大きい場合は、屈折率分布定数を大きくする。逆に、多重入射光 2107 の広がり角度が小さい場合は、屈折率分布定数を小さくする。また、多重入射光 2107 のビーム径に合わせて屈折率分布スラブ導波路 2101 の膜厚を調整すると結合ロスを低減できる。なお、屈折率分布は（数 1）に示すような連続的な変化でなくてもよく、中心からの距離の関数として階段状に変化しても問題無い。

#### 【0196】

次に、屈折率分布スラブ導波路 2101 の入射面 2102 に幅方向の中心から所定距離離れた位置に入射する多重入射光 2107 を入射した時に、出射面 2103 側で幅方向の中心線に対称に波長に応じて 2 分波するメカニズムを説明する。ただし、(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光の場合（図 21 (b) において A と記載した光路を伝送する光信号）と、(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光とに分けて説明する。(i i) の厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、中心面に軸ずれ角度を有して入射する入射光の場合（図 21 (b) において B と記載した光路を伝送する光信号）と、中心面から位置ずれ（軸ずれ）した位置に入射する入射光の場合（図 21 (b) において C と記載した光路を伝送する光信号）との 2 つの光信号が存在する。(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光は、厚さ方向の屈折率分布の影響を受けない。一方、(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、厚さ方向の屈折率分布の影響を受ける。

#### 【0197】

屈折率分布スラブ導波路 2101 において、(i) 厚さ方向の中心面内を伝送する光の振る舞いは、実質的に最大屈折率  $n_0$  しか感じないので、非特許文献 1 に記載されたスラブ導波路において一定屈折率を、最大屈折率  $n_0$  とした場合と等価である。したがって、屈折率分布スラブ導波路 2101 の厚さ方向の中心面内を伝送する多重入射光 2107 に対する出射光の状態は、屈折率が  $n_0$  で一定のスラブ導波路の幅方向に励起するマルチモードのモード分散によって、スラブ長  $L$  に応じて変化する。ただし、出射光の状態が変化するとは、入射光と同じ像の数と出射位置とが変化することを意味する。実施の形態 12 に係る屈折率分布スラブ導波路 2101 の場合、スラブ長  $L$  を、波長 1.30  $\mu\text{m}$  の光量移動と波長 1.55  $\mu\text{m}$  の光量移動との位相差が逆相（すなわち、 $\pi$  の整数倍）になる光路長にすることにより、出射面 2103 に異なる波長を持つ多重入射光 2107 と同じ 2 つの像が、幅方向の中心に対称に形成されよう構成している。

#### 【0198】

図 22 (a) の BPM シミュレーションは、波長 1.30  $\mu\text{m}$  の光の振る舞いを示す。多重入射光 2107 の内、波長 1.30  $\mu\text{m}$  に対応する光信号成分は、屈折率分布スラブ導波路 2101 に固有の第 0 次モード（基本モード）と、第 1 次モードとに展開される。第 0 次モードと第 1 次モードとはモード分散が異なる。言い換えると、第 0 次モードの伝搬定数と、第 1 次モードの伝搬定数とは互いに異なる。したがって、第 0 次モードと第 1

次モードとの間でモード干渉が生じる。このモード干渉によって、波長 $1.30\mu\text{m}$ に対応する光信号成分は、図22(a)に示すように、屈折率分布スラブ導波路2101内を幅方向に交互に移動しながら長さ方向の一方の方向（紙面、左から右へ向けた方向）に伝送される。

#### 【0199】

一方、図22(b)のBPMシミュレーションは、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光の振る舞いを示す。多重入射光2107の内、波長 $1.55\mu\text{m}$ に対応する光信号成分も、屈折率分布スラブ導波路2101に固有の第0次モード（基本モード）と、第1次モードとに展開される。このため、波長 $1.30\mu\text{m}$ の光信号成分の場合と同様に、第0次モードと第1次モードとの間でモード干渉が生じる。このモード干渉によって、波長 $1.55\mu\text{m}$ に対応する光信号成分は、図22(b)に示すように、屈折率分布スラブ導波路2101内を幅方向に交互に移動しながら長さ方向の一方の方向（紙面、左から右へ向けた方向）に伝送される。

#### 【0200】

波長 $1.30\mu\text{m}$ の光信号成分は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号成分と波長分散が異なる。すなわち、波長 $1.30\mu\text{m}$ の光信号成分と波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号成分とは、互いに各モードの伝搬定数が異なるため、屈折率分布スラブ導波路2101内を伝送する際にそれぞれ異なる挙動を示す。この性質を利用して、実施の形態12に係る光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路2101のスラブ長 $L$ を、波長 $1.30\mu\text{m}$ の光信号の光量移動と波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号の光量移動と間の位相差が、逆相（すなわち、 $\pi$ の整数倍）になる大きさに設定している。このように構成することにより、マルチモード干渉のセルフイメージング原理に従って、波長 $1.30\mu\text{m}$ の光信号成分の入射光と同一のプロファイルを持つ像と、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号成分の入射光と同一のプロファイルを持つ像とを、互いに異なる位置に形成することができる。そして、互いに異なる場所に形成される2つの像を、それぞれ出射光2108及び出射光2109として出射させて光分波が達成される。

#### 【0201】

一方、(ii)厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、厚さ方向の屈折率分布の影響を受けるので、図21(b)に示すように、中心面に沿って厚さ方向に蛇行しながら伝播する。すなわち、中心面から離れる方向へ進む光は、常に相対的に屈折率が大きい部分から小さい部分へ進むので、進むにつれて徐々に進行方向と厚さ方向のなす角度が大きくなり、中心軸から最も離れた位置で $90^\circ$ なる。また、中心面へ近づく方向へ進む光は、常に相対的に屈折率が小さい部分から大きい部分へ進むので、進むにつれて徐々に進行方向と厚さ方向のなす角度が小さくなり、中心面と交差する位置で最小となる。(ii)厚さ方向の中心面内を伝送しない光は、蛇行しながらも感じる屈折率は常に最大屈折率 $n_0$ よりも小さいので、(i)厚さ方向の中心面内を伝送する光よりも速度は早くなる。

#### 【0202】

ここで、屈折率分布が前述した(数1)に示す2次関数の屈折率分布である場合、(ii)厚さ方向の中心面内を伝送しない光の中心面に平行な伝送速度の成分は、(i)厚さ方向の中心面内を伝送する光の伝送速度と等しくなる。このことは、厚さ方向のモード分散がないことを意味している。従って、入射光の(ii)厚さ方向の中心面内を伝送しない光の中心面に平行な成分（蛇行する光の厚さ方向に垂直な方向成分）は、(i)厚さ方向の中心面内を伝送する光と同様に、出射面で幅方向の中心に対して対称に2分波される。

#### 【0203】

入射光の(ii)厚さ方向の中心面内を伝送しない光の中心面に垂直な成分（蛇行する光の厚さ方向成分）は、蛇行する光の伝播位置に応じて変化するので、出射光の状態は特定できない。ところが、この蛇行する光の厚さ方向成分は、厚さ方向のモード分散がないので、モード分散に起因する信号波形の乱れの影響を受けない。このため、あたかも幅方向についてもモード分散の影響が無い場合と等価の振る舞いをする。従って、2個の出射

光は、それぞれ多重入射光のそれぞれの波長に対応する光信号成分と同じ像を有することになる。以上の結果から、(i i) 厚さ方向の中心面内を伝送しない光(蛇行する光)は、(i)の場合と同じようにスラブ導波路形状に応じて幅方向の中心対称に入射光と同じ像として2分波される。

#### 【0204】

上記の説明のように、入射光は屈折率分布スラブ導波路2101の厚さ方向の全ての固有モードについて等しく2分波するので、入射面の幅方向の中心から所定距離だけ離れた位置に多重入射光が入射すれば、厚さ方向の中心からの位置ずれや大きな広がり角度を有している場合であっても2分波として機能する光デバイスを得ることができる。なお、入射光の幅方向の中心からの位置ずれは出射光の分波比のアンバランスの原因となるので、同等の出射光を得たい場合、できるだけ位置ずれが無い方がよい。しかしながら、この位置ずれを積極的に利用して分波される光信号の強度比の調整をすることも可能である。

#### 【0205】

なお、2つの波長の間で逆相となる位置を決定する場合、2個の出射光の互いの光量の比が、最大になる幅方向の位置により定める方法、2個の出射光の互いの光量が最小になる幅方向の位置により定める方法のいずれを採用してもよい。前者の方法を採用した場合、出射光の損失を小さくすることができ、伝送される光信号の利用効率を向上させることができる。後者の方法を採用した場合、出射光に含まれるエラー成分を小さくすることができるので、伝送エラーを小さくすることができる。

#### 【0206】

なお、実施の形態1～12では、屈折率分布スラブ導波路への入出力方法として端面への垂直入射の例を示したが、これに限られない。図15(a)は、屈折率分布スラブ導波路の入射方式の一例を示す斜視図、図15(b)は、屈折率分布スラブ導波路の入射方式の他の例を示す斜視図、図16は、屈折率分布スラブ導波路の入射方式のさらに他の例を示す斜視図である。例えば、屈折率分布スラブ導波路の入射端面を45°に傾斜させて反射面1502及び反射面1503を形成し、厚さ方向に垂直な方向から入射する入射光を反射面1502及び反射面1503で反射させて光路を90°折り曲げる反射方式(図15(a))を採用してもよい。また、屈折率分布スラブ導波路の入射端面の近傍に厚さ方向の面に近接してプリズム1602を設け、プリズム1602に入射する光を光バスに結合するカプラー方式(図16)を採用してもよい。また、プリズム1602の代わりに回折格子などの回折光学素子を用いてもよい。また、屈折率分布スラブ導波路を電気基板1503により挟み込んで形成した電気・光ハイブリッド基板にした場合、図15(b)に示すように、入射端面を45°に傾斜させて反射面を形成した屈折率分布スラブ導波路を使用し、電気基板の45°に傾斜させて反射面とした部分に垂直入射光を通す貫通穴1504を設けるとよい。

#### 【0207】

また、実施の形態1～12では、シート状の屈折率分布スラブ導波路を単一平面上としたが、これに限られない。図17(a)は、屈折率分布スラブ導波路の形状の一例を示す斜視図、図17(b)は、屈折率分布スラブ導波路の形状の他の例を示す斜視図である。屈折率分布スラブ導波路は、長さ方向及び厚さ方向を含む任意の相異なる2個の断面において、厚さ方向の中心位置が、常に同一の曲線を描くように湾曲(図17(a))していてもよい。また、屈折率分布スラブ導波路は、長さ方向及び厚さ方向を含む任意の相異なる2個の断面において、厚さ方向の中心位置が、異なる曲線を描くように振れて(図17(b))いてもよい。これは、一般的な厚さ方向に屈折率が一定のスラブ導波路では、湾曲や振れによって境界面で光が反射する時の入射角の変化による分散や損失の影響が避けられないのに対して、厚さ方向の中心に極大値を有する屈折率分布を有するスラブの場合は、光がスラブの境界面に到達することが無く、スラブの境界面の状態に関係なく伝播するからである。

#### 【0208】

なお、上記では入出力光として光に限定しているが、結合ロスの問題にしなければ、シ

ングルモード光でも何ら問題は無い。

【0209】

(実施の形態13)

図23は、本発明の実施の形態13に係る光2分岐器である光デバイスの構成概要図である。実施の形態13に係る光デバイスは、図23に示すように、第1の屈折率分布スラブ導波路2301と、第2の屈折率分布スラブ導波路2302と、第3の屈折率分布スラブ導波路2303とを中心に構成される。

【0210】

第1乃至第3の屈折率分布スラブ導波路2301～2303は、いずれも $xz$ 平面に平行に広がるシート状のマルチモード光伝送路である。第1乃至第3の屈折率分布スラブ導波路2301～2303は、厚さ方向の中心位置に最大屈折率 $n_0$ を持ち、中心位置から離れるに従って屈折率が増加しない厚さ方向の屈折率分布を有する。第1乃至第3の屈折率分布スラブ導波路2301～2303は、幅方向には一定の屈折率を有し、屈折率分布を持たない。

【0211】

第1の屈折率分布スラブ導波路2301は、実施の形態1に係る光2分岐の場合において説明した屈折率分布スラブ導波路と同一である。すなわち、第1の屈折率分布スラブ導波路2301のスラブ長 $L_1$ は、幅方向の基本モード幅 $W_0$ と、厚さ方向の最大屈折率 $n_0$ と、入射光の波長 $\lambda$ の関数となり、ほぼ $n_0 \times W_0^2 / (2\lambda)$ である。

【0212】

第2の屈折率分布スラブ導波路2302及び第3の屈折率分布スラブ導波路2303は、実施の形態4に係るクロスシートバスと同一である。すなわち、第2の屈折率分布スラブ導波路2302及び第3の屈折率分布スラブ導波路2303のスラブ長 $L_2$ は、幅方向の基本モード幅 $W_0$ と、厚さ方向の最大屈折率 $n_0$ と、入射光の波長 $\lambda$ の関数となり、いずれも、ほぼ $4 \times n_0 \times W_0^2 / \lambda$ である。

【0213】

実施の形態13に係る光デバイスは、図示しない入射部から第1の屈折率分布スラブ導波路2301の入射面の幅方向の中心位置に入射光を入射させる。第1の屈折率分布スラブ導波路2301は、入射面の幅方向の中心に入射した入射光を伝送し、セルフイメージング原理に従って、出射面の幅方向の中心に対称な2つの出射光を生成する。

【0214】

第1の屈折率分布スラブ導波路2301から出射した出射光の内、一の出射光は、第2の屈折率分布スラブ導波路2302の入射面の幅方向の中心から所定の距離離れた位置に入射する。第2の屈折率分布スラブ導波路2302は、入射した入射光を伝送し、セルフイメージング原理に従って、出射面の入射光と幅方向の中心に対して対称な位置に出射光を生成する。

【0215】

第1の屈折率分布スラブ導波路2301から出射した出射光の内、他の出射光は、第3の屈折率分布スラブ導波路2303の入射面の幅方向の中心から所定の距離離れた位置に入射する。第3の屈折率分布スラブ導波路2303は、入射した入射光を伝送し、セルフイメージング原理に従って、出射面の入射光と幅方向の中心に対して対称な位置に出射光を生成する。

【0216】

ここで、第1の屈折率分布スラブ導波路2301の基本モードの幅を $W_0$ と、第2の屈折率分布スラブ導波路2302の入射面における幅方向の中心から入射光の入射位置までの所定の距離を $x_1$ と、第3の屈折率分布スラブ導波路2303の入射面における幅方向の中心から入射光の入射位置までの所定の距離を $x_2$ とする。この場合において、第1の屈折率分布スラブ導波路2301の出射面での分離幅 $d_1$ は、セルフイメージング原理によれば、 $d_1 = W_0 / 2$ に等しい。ところが、第2の屈折率分布スラブ導波路2302及び第3の屈折率分布スラブ導波路2303から出射したそれぞれの出射光同士の分離幅 $d$

2 は、 $d_2 = W_0/2 + 2 \times x_1 + 2 \times x_2$  に等しく大幅に拡大している。

【0217】

このように、実施の形態 13 に係る光デバイスは、基本モードの幅  $W_0$  を変化させることなく、分離幅を大きくすることができる。例えば、第 1 の屈折率分布スラブ導波路 2301 のみで光 2 分岐を構成する場合、2 分岐後の分離幅は  $W_0/2$  となり、直径 125  $\mu\text{m}$  の光ファイバーを接続する場合は  $W_0 = 250 \mu\text{m}$  以上が必要である。この場合、第 1 の屈折率分布スラブ導波路 2301 の長さは  $L = 35,000 \mu\text{m}$  以上となり、大型化が避けられない。さらに、直径が 200 ~ 1,000  $\mu\text{m}$  のプラスチック光ファイバーを接続する場合、 $L > 100,000 \mu\text{m}$  となる ( $L$  は、 $W_0$  の 2 乗に比例)。

【0218】

一方、第 2 屈折率分布スラブ導波路 2302 及び第 3 屈折率分布スラブ導波路 2303 を使用した場合、2 つの出射光の移動量は  $2 \times x_1 + 2 \times x_2$  になる。 $x_1$  及び  $x_2$  の値は、第 2 屈折率分布スラブ導波路 2302 及び第 3 屈折率分布スラブ導波路 2303 の半幅まで大きくできる。したがって、第 1 屈折率分布スラブ導波路 2301 のみを用いて同等の分離幅を得ようとした場合より、スラブ長  $L$  を小さくできる。このように、第 1 の屈折率分布スラブ導波路 2301 が分離幅の小さな分岐器であっても、第 2 と第 3 屈折率分布スラブ導波路を接続することにより容易に分離幅を拡大することができる。

【0219】

図 24 は、本発明の実施の形態 13 の変形例 1 に係る 3 個以上の光信号の間隔拡大のための光デバイスの要部を示す上面図である。実施の形態 13 の変形例 1 に係る光デバイスは、図 24 に示すように、幅方向に並べられた複数の屈折率分布スラブ導波路を備えている。各屈折率分布スラブ導波路は、いずれも実施の形態 4 に係るクロスシートバスの場合において説明した屈折率分布スラブ導波路と同一である。

【0220】

実施の形態 13 の変形例 1 に係る光デバイスは、図面の上から順に、幅方向において第  $k-1$  番目に配置される第  $k-1$  の屈折率分布スラブ導波路 2401 と、幅方向において第  $k$  番目に配置される第  $k$  の屈折率分布スラブ導波路 2402 と、幅方向において第  $k+1$  番目に配置される第  $k+1$  の屈折率分布スラブ導波路 2403 とを中心に構成される。

【0221】

実施の形態 13 の変形例 1 に係る光デバイスにおいて、3 個以上の光信号の間隔を拡大するためには、以下の 2 つのパターンを適宜組み合わせることで伝送を行う。

(1) 隣合う第  $k$  及び第  $k+1$  の屈折率分布スラブ導波路のように、入射位置と幅方向の中心との間の関係を互いに異方向にする方法である。この場合、光信号の間隔を大幅に拡大することが可能である。

(2) 隣合う第  $k$  及び第  $k-1$  の屈折率分布スラブ導波路のように、入射位置と幅方向の中心との間の関係を互いに同方向にし、光デバイス全体の中心により近くに入射位置を持つ第  $k$  の屈折率分布スラブ導波路の入射位置と幅方向の中心と間の距離を、第  $k-1$  の屈折率分布スラブ導波路の入射位置と幅方向の中心と間の距離より小さくする方法である。

これら (1) 及び (2) に記載した方法を適宜組み合わせることにより、3 以上の光信号同士の間隔を拡大することが可能になる。

【0222】

図 25 は、本発明の実施の形態 13 の変形例 2 に係る光信号の間隔拡大のための光デバイスの要部を示す上面図である。実施の形態 13 の変形例 2 に係る光デバイスは、図 24 に示すように、長さ方向に入射位置をずらして並べられた複数の屈折率分布スラブ導波路を備えている。各屈折率分布スラブ導波路は、いずれも実施の形態 4 に係るクロスシートバスの場合において説明した屈折率分布スラブ導波路と同一である。

【0223】

実施の形態 13 の変形例 2 に係る光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路を長さ方向に多段に接続している。すなわち、第 1 段の屈折率分布スラブ導波路 2501 からの出射光を、第 2 段の屈折率分布スラブ導波路 2502 の入射光として接続し、第 2 段の屈折率分



布スラブ導波路 2502 からの出射光を、順に第 n 段の屈折率分布スラブ導波路 2503 の入射光として接続している。このとき、実施の形態 13 の変形例 2 に係る光デバイスは、各屈折率分布スラブ導波路からの出射位置が、幅方向の中心に対して常に同方向にずれるよう配置する。このように配置することにより、出射光を幅方向に移動させることができる。

#### 【0224】

なお、以上説明した光デバイスは、いずれも 4 角形のそれぞれ独立した屈折率分布スラブ導波路をそれぞれ接続して分離幅を拡大する構成を説明したが、これに限られない。例えば、複数のシート状多モード導波路が接続した状態の屈折率分布スラブ導波路を製造してもよい。

#### 【0225】

(実施の形態 14)

図 26 は、本発明の実施の形態 14 に係るビーム変換部を有する光デバイスの構成の概要を示す斜視図である。実施の形態 14 に係る光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路 2610 と、入射側光ファイバ 2620 と、第 1 の出射側光ファイバ 2630 と、第 2 の出射側光ファイバ 2635 と、入射側ビーム変換部 2640 と、第 1 の出射側ビーム変換部 2650 と、第 2 の出射側ビーム変換部 2655 とを備える。

#### 【0226】

屈折率分布スラブ導波路 2610 は、実施の形態 1 の光デバイスを構成する屈折率分布スラブ導波路 101 と同一の構成を有し、光 2 分岐を行う所定のスラブ長 L を持つ。入射側光ファイバ 2620 と、第 1 の出射側光ファイバ 2630 及び第 2 の出射側光ファイバ 2635 は、いずれも GI (Graded-Index) 型のマルチモード光ファイバである。入射側光ファイバ 2620 と、第 1 の出射側光ファイバ 2630 及び第 2 の出射側光ファイバ 2635 は、いずれも中心部が最大屈折率であり、周辺に向かって屈折率が 2 次関数に従って減少する屈折率分布を持つ。

#### 【0227】

入射側ビーム変換部 2640 は、屈折率分布スラブ導波路 2610 の入射面 2612 と、入射側光ファイバ 2620 の出射側端面 2622 との間に配置される。入射側ビーム変換部 2640 は、ほぼ円筒形状をなし、円筒の中心軸において極大となり周辺に向かって屈折率が低下する屈折率分布を持つ。入射側ビーム変換部 2640 の屈折率分布は、中心を極大とし周辺に向けて 2 次関数に従って変化する。

#### 【0228】

入射側ビーム変換部 2640 は、入射側光ファイバ 2620 側から屈折率分布スラブ導波路 2610 側へ向けて次第に変化が大きくなる屈折率分布を持つ。ここで、図 26 に記載したグラフに、入射側ビーム変換部 2640 の入射側光ファイバ 2620 側の端面 2641 の屈折率分布を A とし、入射側ビーム変換部 2640 の屈折率分布スラブ導波路 2610 側の端面 2642 の屈折率分布を B として図示する。グラフからわかるように、屈折率分布 A は、屈折率分布 B よりも緩やかな変化を示す。

#### 【0229】

第 1 の出射側ビーム変換部 2650 は、屈折率分布スラブ導波路 2610 の出射面 2613 と、第 1 の出射側光ファイバ 2630 の入射側端面との間に配置される。第 2 の出射側ビーム変換部 2655 は、屈折率分布スラブ導波路 2610 の出射面 2613 と、第 2 の出射側光ファイバ 2635 の入射側端面との間に配置される。第 1 の出射側ビーム変換部 2650 及び第 2 の出射側ビーム変換部 2655 は、ほぼ円筒形状をなし、円筒の中心軸において極大となり周辺に向かって屈折率が低下する屈折率分布を持つ。第 1 の出射側ビーム変換部 2650 及び第 2 の出射側ビーム変換部 2655 の屈折率分布は、中心を極大とし周辺に向けて 2 次関数に従って変化する。

#### 【0230】

第 1 の出射側ビーム変換部 2650 は、第 1 の出射側光ファイバ側 2630 側から屈折率分布スラブ導波路 2610 側へ向けて次第に変化が大きくなる屈折率分布を持つ。第 2



の出射側ビーム変換部 2 6 5 5 は、第 2 の出射側光ファイバ側 2 6 3 1 側から屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 側へ向けて次第に変化が大きくなる屈折率分布を持つ。変化の様子は、前述した入射側ビーム変換部 2 6 4 0 を逆方向に向けた分布になっている。

#### 【0 2 3 1】

以上の構成により、入射側光ファイバ 2 6 2 0 から出射されたマルチモードの光信号は、入射側ビーム変換部 2 6 4 0 に入射して、長さ方向に伝送される。入射側ビーム変換部 2 6 4 0 は、屈折率分布の長さ方向の変化によって、入射側光ファイバ 2 6 2 0 のモードフィールド径（ビームスポット径）を、小さなモードフィールド径（ビームスポット径）に変換する。モードフィールド径が小さく変換された光信号は、屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 の入射面上の幅方向の中心位置に入射光として入射する。屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 は、実施の形態 1 において説明したように、入射光を長さ方向に伝送し、セルフイメージング原理に従って出射面近傍に 2 個の像を形成し、この像を出射光として出射する。

#### 【0 2 3 2】

出射した 2 個の光信号は、それぞれ第 1 の出射側ビーム変換部 2 6 5 0 及び第 2 の出射側ビーム変換部 2 6 5 5 に入射して、長さ方向に伝送される。第 1 の出射側ビーム変換部 2 6 5 0 は、屈折率分布の長さ方向の変化によって、屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 のモードフィールド径（ビームスポット径）を、大きなモードフィールド径（ビームスポット径）に変換する。第 2 の出射側ビーム変換部 2 6 5 5 は、屈折率分布の長さ方向の変化によって、屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 のモードフィールド径（ビームスポット径）を、大きなモードフィールド径（ビームスポット径）に変換する。モードフィールド径が大きく変換された光信号は、第 1 の出射側光ファイバ 2 6 3 0 及び第 2 の出射側光ファイバ 2 6 3 5 へ入射した後、伝送される。

#### 【0 2 3 3】

このように、実施の形態 1 4 に係る光デバイスは、屈折率分布スラブ導波路へ入出射する光信号のモードフィールド径を変換するビーム変換部を備えているので、屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 に小さなモードフィールド径を持つ入射光を入射させることができる。したがって、セルフイメージング原理により、出射光のモードフィールド径を小さくすることができる。

#### 【0 2 3 4】

従来、屈折率分布スラブ導波路の幅に対して P O F のようなコア径（モードフィールド径、ビームスポット径）の占める割合が大きな光ファイバを接続すると、セルフイメージング原理より、出力側にも入射光と同じプロファイルを持つビームスポット径の大きな光が出力されるので、出射光の間隔を大きくすることが困難になる。したがって、光信号の分岐数を多くすることができなかつた。一方、実施の形態 1 4 に係る光デバイスは、出射光のモードフィールド径を小さくすることができるので、分岐数を増やすことが容易である。

#### 【0 2 3 5】

なお、入射のモードフィールド径が小さくなると、分岐された複数の出射光の間隔も小さくなる。これに対しては、出力位置が平行移動できるように出力側ビーム変換部に角度をつけたり、S 字型にして緩やかなカーブを付けることで、コア径の大きな光ファイバを出力側に接続することができる。また、上記例では、屈折率分布スラブ導波路 2 6 1 0 は、実施の形態 1 の光 2 分岐の光デバイスに用いられるものであったが、他の実施の形態で説明したストレートシートバス、クロスシートバス、スターカブラ、光スイッチ等を適用可能であることはいうまでもない。この場合、入出射される光信号の数に応じて、入出射側光ファイバ及び入出射側ビーム変換部の数を調整すればよい。

#### 【0 2 3 6】

図 2 7 は、本発明の実施の形態 1 4 の変形例 1 に係る光デバイスの構成の概要を示す斜視図である。実施の形態 1 4 の変形例 1 に係る光デバイスは、実施の形態 1 4 の光デバイスとはほぼ同一の構成を有するので、相違する部分のみ説明する。また、同一の符号は同一

の構成を示す。

【0237】

実施の形態14の変形例1に係る光デバイスは、実施の形態2で説明した光N分岐の光デバイスにおいて、 $N=5$ とした屈折率分布スラブ導波路2710を備えている。実施の形態14の変形例1に係る光デバイスは、厚さ方向の中心に最大屈折率を持ち、厚さ方向にのみ2次関数に従って屈折率が減少する屈折率分布を持つ屈折率分布導波路からなる入射側ビーム変換部2740を備える。また、実施の形態14の変形例1に係る光デバイスは、厚さ方向の中心に最大屈折率を持ち、厚さ方向にのみ2次関数に従って屈折率が減少する屈折率分布を、それぞれ持つ5個の屈折率分布導波路からなる出射側ビーム変換部2750を備える。

【0238】

入射側ビーム変換部2720の屈折率分布導波路は、入射側光ファイバ2620側から屈折率分布スラブ導波路2710側へ向けて、幅方向の大きさが減少する形状を持つ。出射側ビーム変換部2730の各屈折率分布導波路は、各出射側光ファイバ2630側から屈折率分布スラブ導波路2710側へ向けて、幅方向の大きさが減少する形状を備える屈折率分布導波路である。このように、幅方向の大きさが変化する屈折率分布導波路を入射側のビーム変換部に用いた場合であっても、モードフィールド径を変換することが可能である。

【0239】

図28(a)は、本発明の実施の形態14の変形例2に係る光デバイスの構成の概要を示す上面図である。また、図28(b)は、本発明の実施の形態14の変形例2に係る光デバイスの出射側ビーム変換部2850の一例を示す断面図、図28(c)は、本発明の実施の形態14の変形例2に係る光デバイスの出射側ビーム変換部2850の他の例を示す断面図である。実施の形態14の変形例2に係る光デバイスは、実施の形態14の光デバイスとほぼ同一の構成を有するので、相違する部分のみ説明する。また、同一の符号は同一の構成を示す。

【0240】

実施の形態14の変形例2に係る光デバイスは、実施の形態2で説明した光N分岐の光デバイスにおいて、 $N=4$ とした屈折率分布スラブ導波路2810を備えている。実施の形態14の変形例2に係る光デバイスは、変形例1において説明した入射側ビーム変換部2740を備える。実施の形態14の変形例2に係る光デバイスは、出力側光ファイバ2830の全てをカバーする単体の出射側ビーム変換部2850を備える。出射側ビーム変換部2850は、長さ方向に垂直な平面内で、屈折率分布スラブ導波路2810の幅方向中心に対応する中心に最大屈折率を持ち、周辺に向けて屈折率が低下する屈折率分布を持つ光伝送路である。出射側ビーム変換部2850は、断面が円あるいは矩形のいずれかの形状を有する。図28(b)は、断面が円である出射側ビーム変換部2850、図28(c)は、断面が矩形である出射側ビーム変換部2850をそれぞれ示している。また、各断面図において、出射側光ファイバ群2830は、すべて断面内に配置される。このように、屈折率分布を持つ単一の光伝送路をビーム変換部に用いた場合であっても、モードフィールド径を変換することが可能である。

【0241】

なお、変形例2のように、ビーム変換部の構成は入射側で統一する必要な無く、適宜組み合わせることができる。例えば、入射側ビーム変換部に変形例2で説明した構成を適用して、出射側ビーム変換部に変形例1で説明した構成を適用する等してもよい。

【0242】

図29は、本発明の実施の形態14の変形例3に係る光デバイスの構成の概要を示す斜視図である。実施の形態14の変形例2に係る光デバイスは、実施の形態14の変形例1に係る光デバイスとほぼ同一の構成を有するので、相違する部分のみ説明する。また、同一の符号は同一の構成を示す。

【0243】

本発明の実施の形態 14 の変形例 3 に係る光デバイスは、出射側光ファイバ群 2930 のクラッドの一部が幅方向にカットして、光ファイバ同士の隣接間隔を小さくしている。このように、クラッドの一部をカットすることにより、出射側ビーム変換部 2750 の幅方向の変形量を小さくすることができる。

#### 【0244】

(製造方法に係る実施の形態)

以下、各実施の形態で説明したシート状の屈折率分布スラブ導波路の製造方法を説明する。屈折率分布スラブ導波路の製造方法としては、例えば下記の 2 種類があげられる。

#### 【0245】

第 1 の製造方法は、屈折率の異なる極薄のフィルムを、厚さ方向の屈折率変化に合わせて積層して屈折率分布スラブ導波路を製造する方法である。第 1 の製造方法の具体例として、エポキシ系、アクリル系、ポリカーボネート系、ポリイミド系の樹脂を採用する方法がある。これらの樹脂に添加されるフッ素や重水素や硫黄などの添加量を調整すると、屈折率が変化するので、さまざまな屈折率を有する極薄のフィルムを製造することができる。

#### 【0246】

第 2 の製造方法は、光伝送路の厚さ方向の組成を、厚さ方向の屈折率分布に合うように変化させる方法である。第 2 の製造方法の具体例として、以下に示す方法がある。

(1) シート状のガラス材料へイオン注入し、注入したイオンをガラス内部で分布制御して屈折率分布を形成する方法。

(2) シート状のポリシラン系樹脂を硬化する際に、酸素濃度を制御し、ポリシラン内部での酸素濃度に分布を施して屈折率分布を形成する方法。

(3) シート状の全フッ素樹脂を硬化する際に、樹脂内部で高屈折率低分子と低屈折率モノマーの分布を制御して屈折率分布を施す方法。

なお、(3) の全フッ素樹脂内部で屈折率分布形成方法は、他の樹脂に対しても応用が可能である。

#### 【0247】

以下、特に第 2 の製造方法の (2) のポリシラン系樹脂を用いて屈折率分布スラブ導波路を作成する方法について詳細に説明する。ポリシラン系樹脂は、紫外線露光や熱処理によって硬化する。このとき、ポリシラン系樹脂の一部は、硬化される時に酸化されて屈折率のより小さなシロキサン構造に変化する。したがって、硬化したポリシラン系樹脂は、酸化されないでポリシラン系樹脂の構造のまま硬化した部分と、硬化される時に酸化されてシロキサン構造に変化した部分の比率を変化させることにより、屈折率を制御することが可能になる。例えば、雰囲気中に酸素を含む環境で硬化させた場合、ポリシラン系樹脂は、表面から内部へ向かって酸素濃度が低下した状態で硬化されるため、酸素濃度の低い内部から酸素濃度の高い表面に向かって屈折率が低下する屈折率分布構造を形成することが可能である。

#### 【0248】

以下、光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の製造方法を説明する。図 30 は、屈折率分布スラブ導波路の製造方法の一例を示す説明図である。図 30 において、はじめに、実施の形態 1 で説明した屈折率分布スラブ導波路 3010 のスラブ厚 D と同じ深さを有し、複数の屈折率分布スラブ導波路 3010 の大きさに相当する凹部 3001 を持つ透明成型型 3002 を準備する (第 1 の工程)。透明成型型 3002 は、紫外線に対して透明な材料により形成する。次に、透明成型型 3002 の凹部分 3001 に、ポリシラン系樹脂 3003 を凹部 3001 からほぼはみ出さないように充填する (第 2 の工程)。この工程を、図 30 (a) に示す。

#### 【0249】

次に、凹部 3001 に溜めたポリシラン系樹脂 3003 に対して、厚さ方向の上下から紫外線 3004 を照射すると同時に加熱する。この工程を、図 30 (b) に示す。その後、ポリシラン系樹脂 3003 を硬化させる (第 3 の工程)。この工程を、図 30 (b) に

示す。

【0250】

ポリシラン系樹脂3003が硬化した後、所望の屈折率分布スラブ導波路3010の形状に切断する（第4の工程）。このようにして、複数の屈折率分布スラブ導波路を製造することができる。切断した後の透明成型型3002は、そのまま屈折率分布スラブ導波路3010の基板3005として使用することができる。もちろん、基板3005を除去してもよい。

【0251】

ただし、凹部3002の側壁は、最後に切断削除されるので垂直でなくても良く、テーパ面であってもよい。また、屈折率分布スラブ導波路3010の切断面を光学研磨しても良い。

【0252】

図31は、屈折率分布スラブ導波路の製造方法の他の例を示す説明図である。図31において、はじめに、実施の形態1で説明した屈折率分布スラブ導波路3110のスラブ厚Dと同じ深さを有し、単一の屈折率分布スラブ導波路3110の大きさに相当する凹部3001を持つ透明成型型3102を準備する（第1の工程）。透明成型型3102は、紫外線に対して透明な材料により形成する。次に、透明成型型3102の凹部分3101に、ポリシラン系樹脂3103を凹部3101からほぼはみ出さないように充填する（第2の工程）。この工程を、図31（a）に示す。

【0253】

次に、凹部3101に溜めたポリシラン系樹脂3103に対して、厚さ方向の上下から紫外線3004を照射すると同時に加熱する。この工程を、図31（b）に示す。その後、ポリシラン系樹脂3103を硬化させる（第3の工程）。この工程を、図31（b）に示す。

【0254】

ポリシラン系樹脂3103が硬化した後、入出射端面に相当する部分を屈折率分布スラブ導波路3110の形状に切断する（第4の工程）。このようにして、屈折率分布スラブ導波路を製造することができる。切断した後の透明成型型3102は、そのまま屈折率分布スラブ導波路3110の基板3105として使用することができる。もちろん、基板3005を除去してもよい。

【0255】

ただし、凹部の入出射面は最後に切断削除されるので垂直でなくても良くてテーパが付いていても良いが、幅方向の側壁面3106は10°以下の垂直面が望ましい。また、凹部の入出射面は、切断削除されるだけではなく、入出射位置の近傍にのみ形成してもよい。また、切断面を光学研磨しても良いが、光入出射面方向の透明成型型3102の肉厚が10μm以下であれば透明成型型3102自体を切断や研磨して入出射面にしても良い。

【0256】

このように、透明成型型に設けた凹部分に充填した樹脂を溜めるようにすることで、粘土の低い樹脂であっても膜厚を任意に厚くすることができる。したがって、コア径の大きな光ファイバを入出射側に用いることが可能な光伝送路に対応することができる。

【0257】

図32は、ポリシラン系樹脂を用いた屈折率分布のメカニズムを説明する説明図である。前述のように、ポリシラン系樹脂は、紫外線露光や熱処理によって起こる硬化時の酸化により屈折率のより小さなシロキサン構造（図32（e））に変化する。このため、酸化しないポリシラン構造（図32（d））部分と酸化により発生するシロキサン構造部分の比率を制御することで屈折率分布をつけることができる。図からわかるように、ポリシラン系樹脂を酸素雰囲気中に配置し（図32（a））、紫外線露光と加熱とのいずれか一方を行う（図32（b））ことにより、酸素濃度が薄い中心部はポリシラン構造が多く、酸素濃度が濃い表面部はシロキサン構造が多い成形体を得る（図32（c））。

【0258】

ポリシラン系樹脂の膜厚が $50\mu\text{m}$ 以下である場合、雰囲気中の酸素によりポリシラン内では表面から内部に向かって酸素濃度が低下する。このため、自然に酸素濃度の低い内部から酸素濃度の高い表面に向かって屈折率が低下する屈折率分布を形成することとなる。また、ポリシラン系樹脂の膜厚が $50\mu\text{m}$ 以上である場合、雰囲気中の酸素以外に、予め硬化前のポリシラン系樹脂の内部に酸素あるいは酸化物を所望の分布で拡散させておくことで、酸化時の屈折率分布を任意に制御することも可能である。

【0259】

また、ポリシランを両面から対称的に酸化させることで厚さ方向の中心に対して対称形状の屈折率分布を形成することができる。ただし、UV露光で硬化する場合に基板側から露光する場合は、UVに対して透明な材料、例えば、石英やパイレックス(R)などのガラスを使用し、基板側から露光しない場合は、ガラス以外にシリコンや樹脂などUVに対して不透明な材料でもかまわない。

【0260】

図33は、本発明の実施の形態14の変形例1に係る光デバイスの製造方法を説明する説明図である。以下、本発明の実施の形態14に係る変形例1を例にして、光デバイスの製造方法を説明する。

【0261】

透明成型型3301は、予め屈折率分布マルチモード導波路に相当する凹部3302と、入射側ビーム変換部に相当する凹部3303と、出射側ビーム変換部に相当する凹部3304とが形成される。また、透明成型型3301は、入射側光ファイバ3310の位置決めを行うためのV溝3305と、出射側光ファイバ3311の位置決めを行うためのV溝3306とが形成される。この透明成型型3301の各凹部に、ポリシラン系樹脂3320を充填する。充填した後、各凹部に溜めたポリシラン3320に対して、上下からの紫外線を照射すると同時に加熱して、ポリシラン系樹脂3301を硬化させる。最後に、V溝3305及びV溝3306に、光ファイバーを配置して光デバイスを製造することができる。

【0262】

ただし、凹部3302の幅方向を決定する側壁面3330は $10^\circ$ 以下の垂直面にすることが望ましい。このように、透明成型型に設けた凹部に充填した樹脂を溜めるようにすることで、粘度の低い樹脂であっても膜厚を任意に厚くすることができる。したがって、入出射側の光伝送路にコア径の大きな光ファイバーを使用した場合であっても、対応することができる。

【0263】

以上の例では、透明成型型を屈折率分布スラブ導波路の基板として、光デバイスの一部として利用したが、硬化したポリシラン系樹脂を離型してもよい。離型することにより、透明成型型の再利用が可能となるので、透明成型型の製造コストを低減することができる。

【0264】

図34及び図35は、本発明の実施の形態14の変形例1に係る光デバイスの製造方法の別例を説明する説明図である。図34において、透明成型型3401は、予め屈折率分布マルチモード導波路に相当する凹部3402と、入射側ビーム変換部に相当する凹部3403と、出射側ビーム変換部に相当する凹部3404とが形成される。この透明成型型3401により、入出射側ビーム変換部が一体的に形成された屈折率分布スラブ導波路3410を、今まで述べた紫外線露光等の方法で成形する。屈折率分布スラブ導波路3410は、硬化後、透明成型型3401から離型する。

【0265】

次に、図35において、予め屈折率分布スラブ導波路3401に相当する凹部3502と、入射側光ファイバ3520の位置決めを行うV溝3503と、出射側光ファイバ3530の位置決めを行うV溝3504とが形成されたアセンブリ型3501を準備する。このアセンブリ型3501に、屈折率分布スラブ導波路3401と、入射側光ファイバ35

20と、出射側光ファイバ3530とを配置することにより、光デバイスを製造することができる。

【0266】

この製造方法によれば、屈折率分布スラブ導波路3401の成形に用いた透明成型型は、離型により再利用できるため、コストダウンが可能である。また、入出射側ビーム変換部の位置決め調整が不要であるため製造の際の生産性向上を図ることができる。また、アセンブリ型3501は、製造工程において紫外線露光をする必要がないため材料の限定が小さく、低価格な型材料を選択することができる。また、アセンブリ型3501を使用することにより、入出射側光ファイバの位置決め調整が容易であるため製造の際の生産性向上を図ることができる。

【0267】

なお、図34及び図35の出射側ビーム変換部は、出射側光ファイバ側とGI型マルチモードスラブ導波路側の光軸が一致しているが、これに限られない。実施の形態14の変形例1に説明したように、各出射側ビーム変換部間隔が、屈折率分布スラブ導波路から出射側光ファイバに向かって次第に大きくすると、屈折率分布スラブ導波路の形状を小さくできる。

【0268】

以上説明した製造方法は、光N分岐の光デバイスだけでなく、各実施の形態で説明したストレートシートバス、クロスシートバス、光スイッチ、スターカプラ等の光デバイスに適用可能であることはいうまでもない。

【産業上の利用可能性】

【0269】

本発明は、高速マルチモード光通信に用いられる光分岐器、光分波器、光合成器、光号波器等の光デバイスに好適である。また、本発明は、高速マルチモード光配線に用いられる光データバス等に好適である。

【図面の簡単な説明】

【0270】

【図1】(a)は、本発明の実施の形態1に係る光2分岐を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の概要を示す斜視図、(b)は、本発明の実施の形態1に係る光2分岐を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の断面図

【図2】本発明の実施の形態2に係る光8分岐を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の概要を示す斜視図

【図3】本発明の実施の形態3に係る光デバイスである2信号ストレートシートバスの概要を示す斜視図

【図4】本発明の実施の形態3の変形例に係る光デバイスである8信号ストレートシートバスの概要を示す斜視図

【図5】本発明の実施の形態4に係る光デバイスである2信号クロスシートバスの概要を示す斜視図

【図6】本発明の実施の形態4の変形例に係る光デバイスである8信号クロスシートバスの概要を示す斜視図

【図7】本発明の実施の形態5に係る光デバイスである2信号スターカプラの概要を示す斜視図

【図8】(a)は、本発明の実施の形態6に係る光デバイスである片側制御型光スイッチの概要を示す斜視図、(b)は、本発明の実施の形態6の変形例1に係る光デバイスである両側制御型光スイッチの概要を示す斜視図

【図9】本発明の実施の形態7に係る光集積デバイスである光スイッチアレーの概要を示す斜視図

【図10】本発明の実施の形態8に係る光デバイスである1対双方向ストレートシートバスの概略構成を示す斜視図

【図11】本発明の実施の形態8の変形例に係る光デバイスである4対双方向ストレ

ートシートバスの概要を示す斜視図

【図12】本発明の実施の形態9に係る光デバイスである1対双方向クロスシートバスの概略構成を示す斜視図

【図13】本発明の実施の形態10に係る光集積デバイスである1対ストレート双方向光バスアレーの構成概要図

【図14】本発明の実施の形態11に係る光集積デバイスである多層光バスの構成概要図

【図15】(a)は、屈折率分布スラブ導波路の入出射方式の一例を示す斜視図、(b)は、屈折率分布スラブ導波路の入出射方式の他の例を示す斜視図

【図16】屈折率分布スラブ導波路の入出射方式のさらに他の例を示す斜視図

【図17】(a)は、屈折率分布スラブ導波路の形状の一例を示す斜視図、(b)は、屈折率分布スラブ導波路の形状の他の例を示す斜視図

【図18】光2分岐の場合のBPM(Beam Propagation Method)シミュレーション結果

【図19】本発明に係る3個の入出力光を持つスターカブラの屈折率分布スラブ導波路を示す上面図

【図20】(a)は、本発明の実施の形態6の変形例2に係る光デバイスである片側制御型光スイッチの概要を示す斜視図、(b)は、本発明の実施の形態6の変形例3に係る光デバイスである両側制御型光スイッチの概要を示す斜視図

【図21】(a)は、本発明の実施の形態12に係る光分波を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の概要を示す斜視図、(b)は、本発明の実施の形態12に係る光分波を行う光デバイスの屈折率分布スラブ導波路の断面図

【図22】(a)は、屈折率分布スラブ導波路に $1.30\mu\text{m}$ の光信号を伝送させた場合のBPMシミュレーション結果、(b)は、屈折率分布スラブ導波路 $1201$ に $1.55\mu\text{m}$ の光信号を伝送させた場合のBPMシミュレーション結果

【図23】本発明の実施の形態13に係る光2分岐器である光デバイスの構成概要図

【図24】本発明の実施の形態13の変形例1に係る3個以上の光信号の間隔拡大のための光デバイスの要部を示す上面図

【図25】本発明の実施の形態13の変形例2に係る光信号の間隔拡大のための光デバイスの要部を示す上面図

【図26】本発明の実施の形態14に係るビーム変換部を有する光デバイスの構成の概要を示す斜視図

【図27】本発明の実施の形態14の変形例1に係る光デバイスの構成の概要を示す斜視図で

【図28】(a)は、本発明の実施の形態14の変形例2に係る光デバイスの構成の概要を示す上面図、(b)は、本発明の実施の形態14の変形例2に係る光デバイスの出射側ビーム変換部の一例を示す断面図、(c)は、本発明の実施の形態14の変形例2に係る光デバイスの出射側ビーム変換部の他の例を示す断面図

【図29】本発明の実施の形態14の変形例3に係る光デバイスの構成の概要を示す斜視図

【図30】屈折率分布スラブ導波路の製造方法の一例を示す説明図

【図31】屈折率分布スラブ導波路の製造方法の他の例を示す説明図

【図32】ポリシラン系樹脂を用いた屈折率分布のメカニズムを説明する説明図

【図33】本発明の実施の形態14の変形例1に係る光デバイスの製造方法を説明する説明図

【図34】本発明の実施の形態14の変形例1に係る光デバイスの製造方法の別例を説明する説明図

【図35】本発明の実施の形態14の変形例1に係る光デバイスの製造方法の別例を説明する説明図

【符号の説明】

## 【0271】

- 101 屈折率分布スラブ伝送路
- 102 入射面
- 103 出射面
- 107 入射光
- 108 出射光
- 201 屈折率分布スラブ導波路
- 202 入射面
- 203 出射面
- 207 入射光
- 208 出射光
- 220 受光部
- 221 アレーO/E変換部
- 222 出力電気線
- 301 屈折率分布スラブ導波路
- 302 入射面
- 303 出射面
- 323 アレーE/O変換部
- 330 第1の発光部
- 331 第2の発光部
- 332 アレーE/O変換部
- 333 入力電気線
- 334 第1の受光部
- 335 第2の受光部
- 336 アレーO/E変換部
- 337 出力電気線
- 338 第1光
- 339 第2光
- 401 屈折率分布スラブ導波路
- 402 入射面
- 403 出射面
- 423 アレーE/O変換部
- 432 アレーE/O変換部
- 436 アレーO/E変換部
- 438 第1光
- 445 第8光
- 446 発光部群
- 447 受光部群
- 501 屈折率分布スラブ導波路
- 502 入射面
- 503 出射面
- 523 アレーE/O変換部
- 530 第1の発光部
- 531 第2の発光部
- 532 アレーE/O変換部
- 534 第1の受光部
- 535 第2の受光部
- 536 アレーO/E変換部
- 538 第1光
- 539 第2光



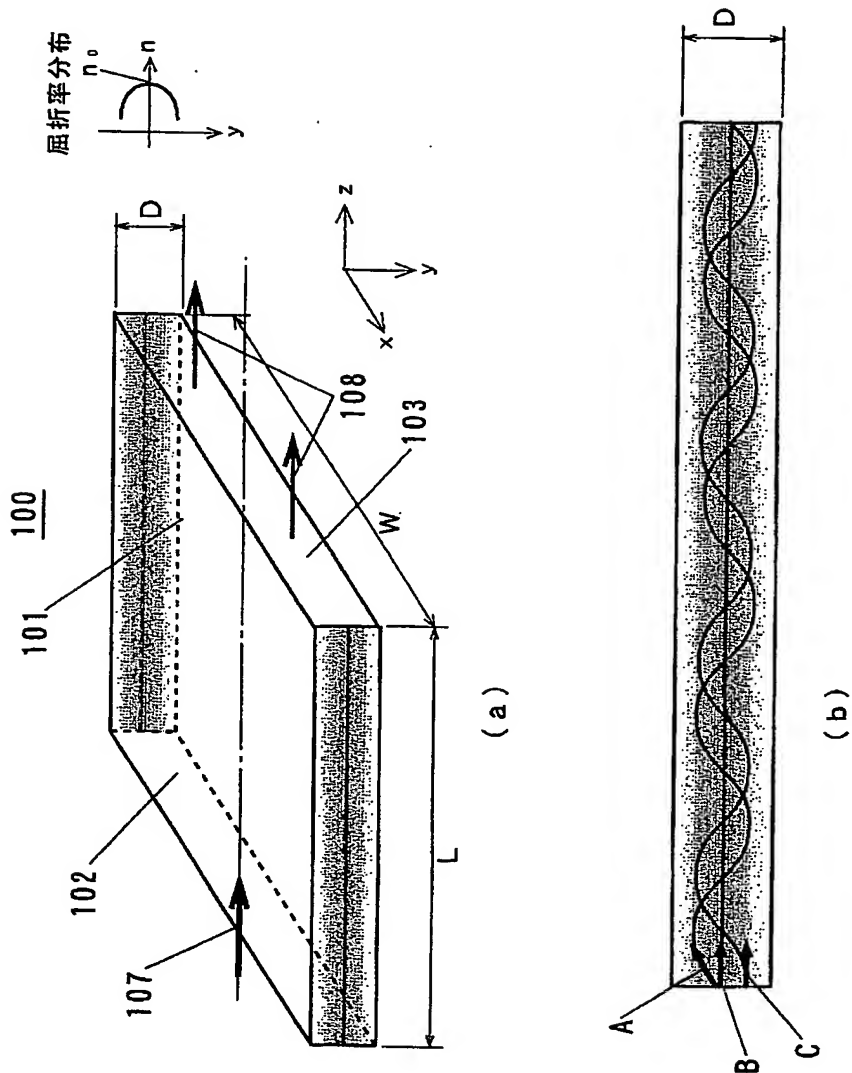
- 601 屈折率分布スラブ導波路
- 603 出射面
- 623 アレーE/O変換部
- 632 アレーE/O変換部
- 634 受光部群
- 636 アレーO/E変換部
- 638 第1光
- 640 発光部群
- 645 第8光
- 646 発光部群
- 647 受光部群
- 701 屈折率分布スラブ導波路
- 702 入射面
- 703 出射面
- 730 第1の発光部
- 731 第2の発光部
- 732 アレーE/O変換部
- 734 第1の受光部
- 735 第2の受光部
- 736 アレーO/E変換部
- 738 第1光
- 739 第2光
- 801a 第1の屈折率分布スラブ部分導波路
- 801b 第2の屈折率分布スラブ部分導波路
- 802 出射面
- 803 出射面
- 804 入射光
- 805 冷熱シート
- 806 接続線
- 807 温度制御部
- 808 出射光
- 809 出射光
- 901 積層光スイッチ群
- 902 アレー入射光
- 903 第1受光部群
- 904 第2受光部群
- 905 第1アレーO/E変換部
- 906 第2アレーO/E変換部
- 907 第1出力電気線
- 908 第2出力信号線
- 1001 屈折率分布スラブ導波路
- 1002 第1面
- 1003 第2面
- 1006 第1E/O変換部
- 1007 第1O/E変換部
- 1008 第2O/E変換部
- 1009 第2E/O変換部
- 1010 第1入力電気線
- 1011 第2入力電気線
- 1012 第1出力電気線

- 1013 第2出力電気線
- 1014 第1の発光部
- 1015 第2の発光部
- 1016 第1の受光部
- 1017 第2の受光部
- 1018 第1光
- 1019 第2光
- 1101 屈折率分布スラブ導波路
- 1102 第1面
- 1103 第2面
- 1106 第1アレーE/O変換部
- 1107 第1アレーO/E変換部
- 1108 第2アレーO/E変換部
- 1109 第2アレーE/O変換部
- 1114 第1の発光部群
- 1115 第2の発光部群
- 1116 第1の受光部群
- 1117 第2の受光部群
- 1121 第1光
- 1124 第4光
- 1125 第5光
- 1128 第8光
- 1201 屈折率分布スラブ導波路
- 1202 第1面
- 1203 第2面
- 1206 第1E/O変換部
- 1207 第1O/E変換部
- 1208 第2O/E変換部
- 1209 第2E/O変換部
- 1214 第1の発光部
- 1215 第2の発光部
- 1216 第1の受光部
- 1217 第2の受光部
- 1218 第1光
- 1219 第2光
- 1301 積層双方向ストレートシートバス
- 1302 第1アレーE/O変換部
- 1303 第1アレーO/E変換部
- 1304 第2アレーO/E変換部
- 1305 第2アレーE/O変換部
- 1306 第1入力電気線
- 1307 第1アレーO/E変換部
- 1308 第2入力電気線
- 1309 第2出力電気線
- 1401 第1の屈折率分布スラブ導波路
- 1402 第2の屈折率分布スラブ導波路
- 1403 第3の屈折率分布スラブ導波路
- 1901 屈折率分布スラブ導波路
- 1902 第1光
- 1903 第2光

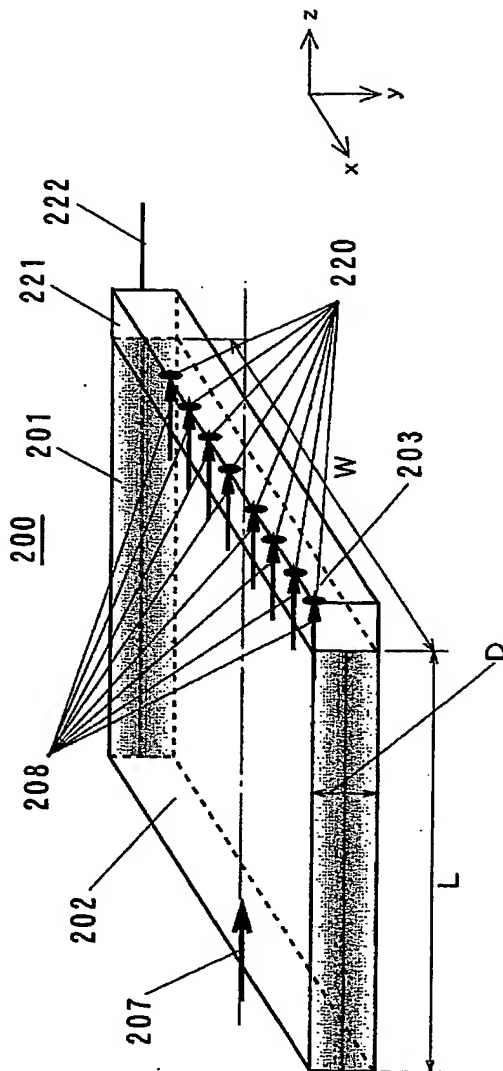
1904 第3光  
2003 出射光  
2101 屈折率分布スラブ導波路  
2102 入射面  
2103 出射面  
2107 多重入射光  
2108 出射光  
2109 出射光  
2301 第1の屈折率分布スラブ導波路  
2302 第2の屈折率分布スラブ導波路  
2303 第3の屈折率分布スラブ導波路  
2401 第 $k-1$ の屈折率分布スラブ導波路  
2402 第 $k$ の屈折率分布スラブ導波路  
2403 第 $k+1$ の屈折率分布スラブ導波路  
2501 第1段の屈折率分布スラブ導波路  
2502 第2段の屈折率分布スラブ導波路  
2503 第 $n$ 段の屈折率分布スラブ導波路  
2610 屈折率分布スラブ導波路  
2612 入射面  
2613 出射面  
2620 入射側光ファイバ  
2622 出射側端面  
2630 第1の出射側光ファイバ  
2631 第2の出射側光ファイバ  
2635 第2の出射側光ファイバ  
2636 入射側端面  
2640 入射側ビーム変換部  
2641 端面  
2642 端面  
2650 第1の出射側ビーム変換部  
2655 第2の出射側ビーム変換部  
2710 屈折率分布スラブ導波路  
2720 入射側ビーム変換部  
2730 出射側ビーム変換部  
2740 入射側ビーム変換部  
2750 出射側ビーム変換部  
2810 屈折率分布スラブ導波路  
2830 出力側光ファイバ  
2850 出射側ビーム変換部  
2930 出射側光ファイバ群  
3001 凹部  
3002 透明成型型  
3003 ポリシラン系樹脂  
3004 紫外線  
3005 基板  
3010 屈折率分布スラブ導波路  
3101 凹部  
3102 透明成型型  
3103 ポリシラン系樹脂  
3105 基板

3 1 0 6 側壁面  
3 1 1 0 屈折率分布スラブ導波路  
3 3 0 1 透明成形型  
3 3 0 2 凹部  
3 3 0 3 凹部  
3 3 0 4 凹部  
3 3 0 5 V溝  
3 3 0 6 V溝  
3 3 1 0 入射側光ファイバ  
3 3 1 1 出射側光ファイバ  
3 3 2 0 ポリシラン系樹脂  
3 3 3 0 側壁面  
3 4 0 1 透明成形型  
3 4 0 2 凹部  
3 4 0 3 凹部  
3 4 0 4 凹部  
3 4 1 0 屈折率分布スラブ導波路  
3 5 0 1 アセンブリ型  
3 5 0 2 凹部  
3 5 0 3 V溝  
3 5 0 4 V溝  
3 5 2 0 入射側光ファイバ  
3 5 3 0 出射側光ファイバ

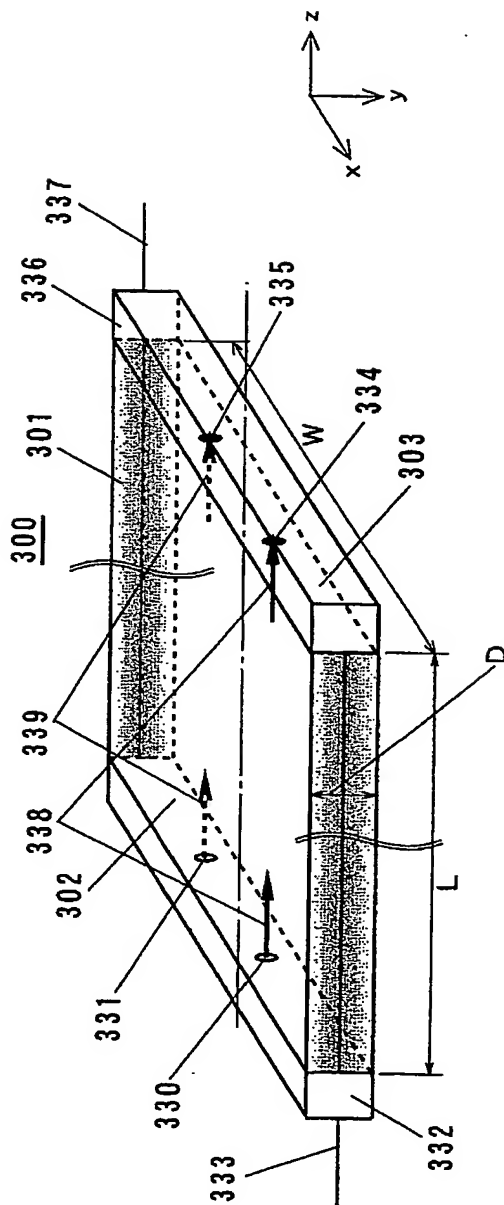
【書類名】 図面  
【図 1】



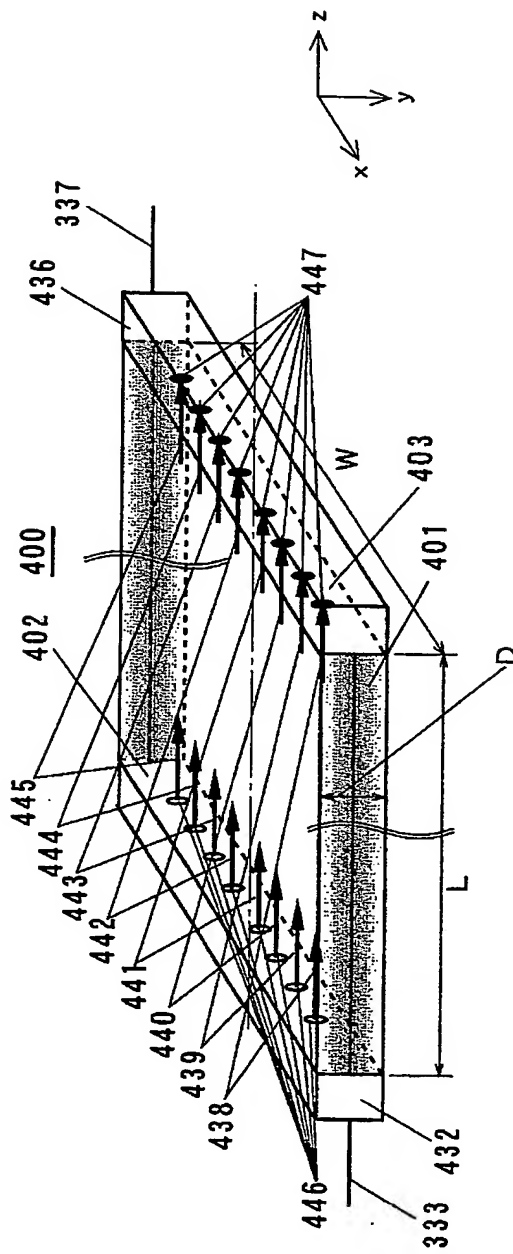
【図 2】



【図 3】

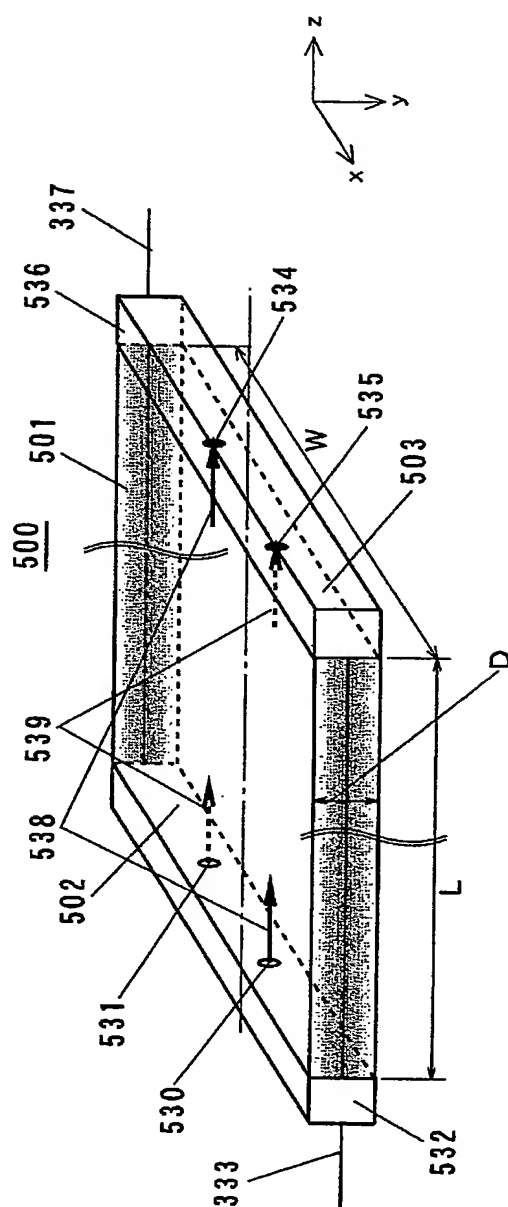


【図 4】

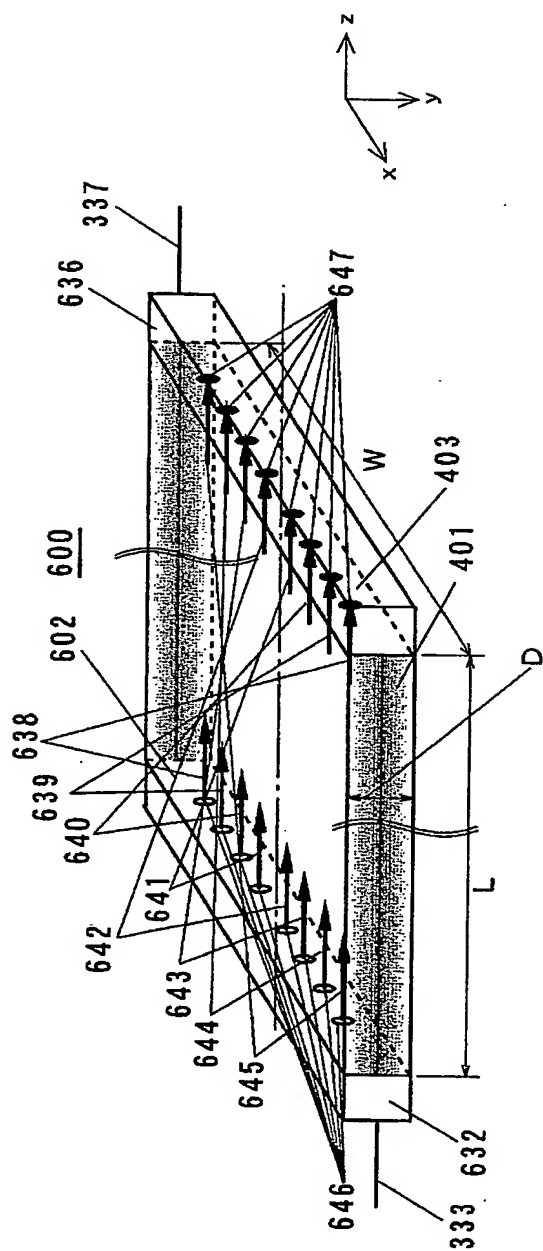




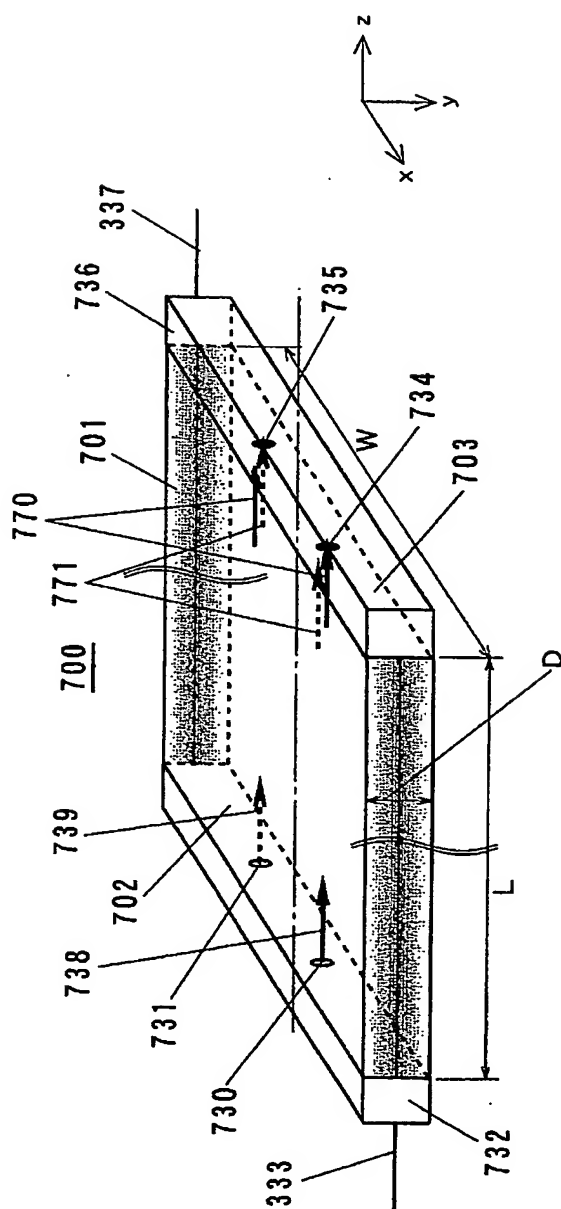
【図 5】



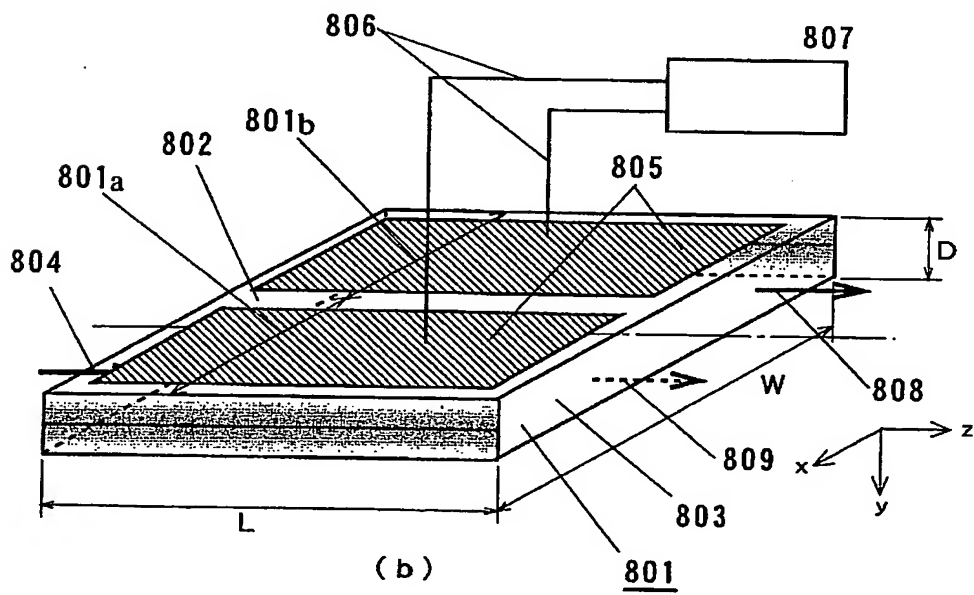
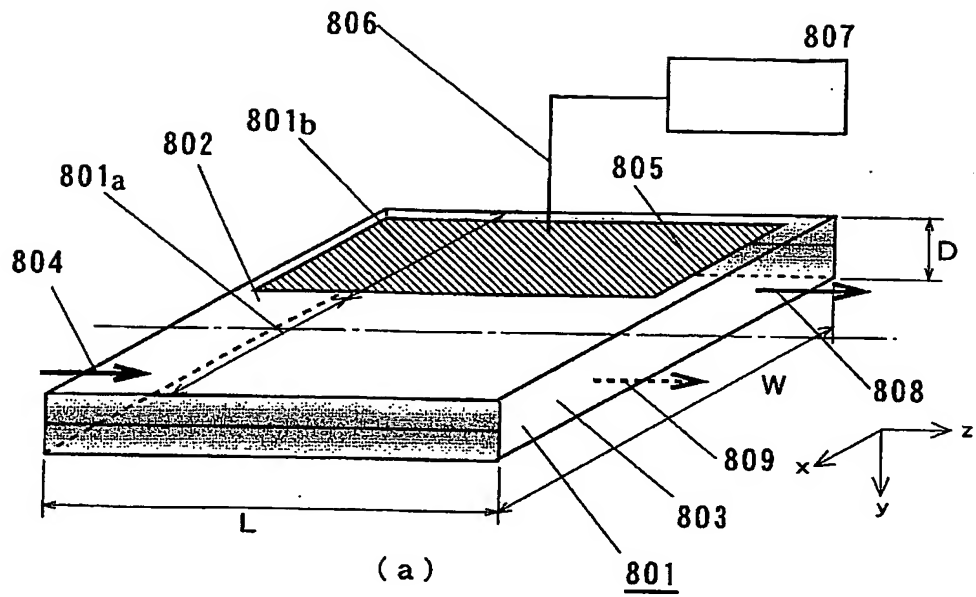
【図 6】



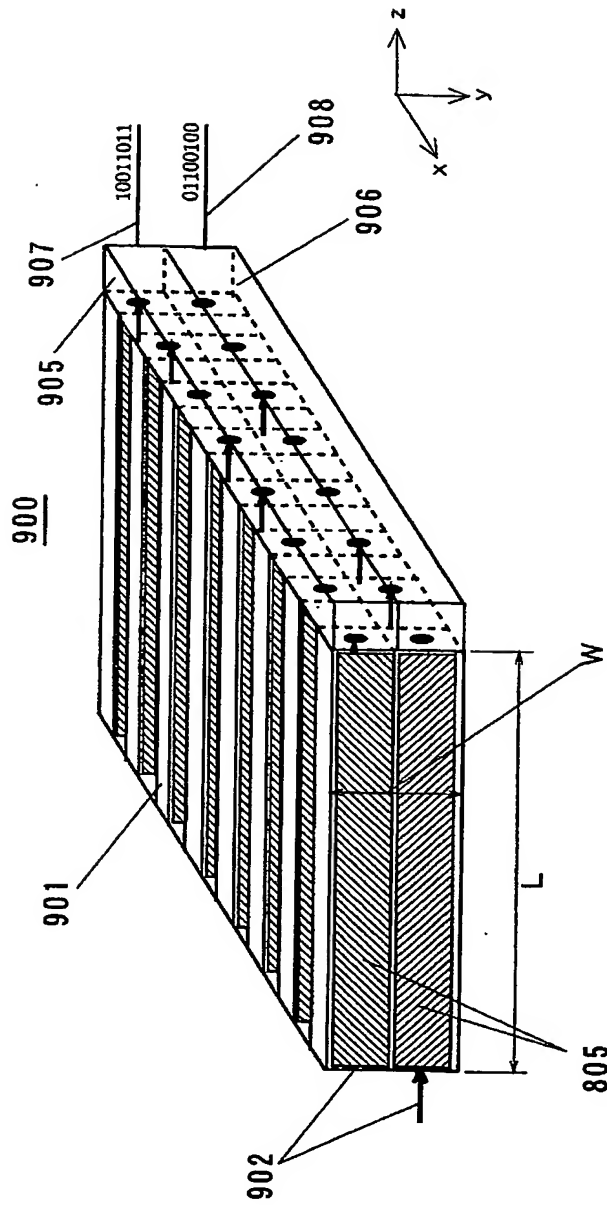
【図 7】



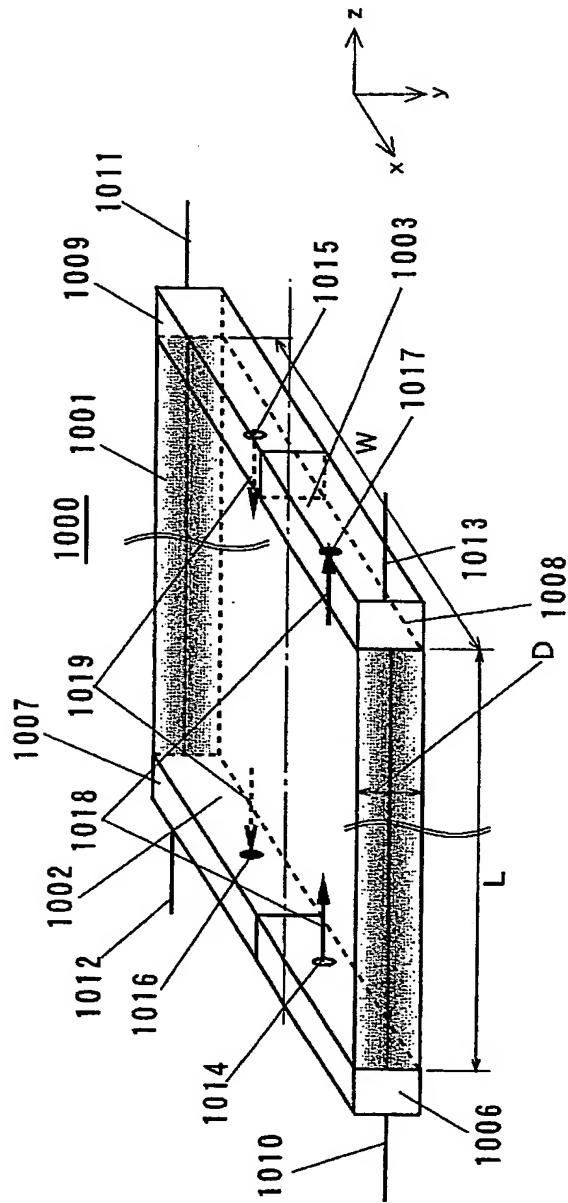
【図 8】



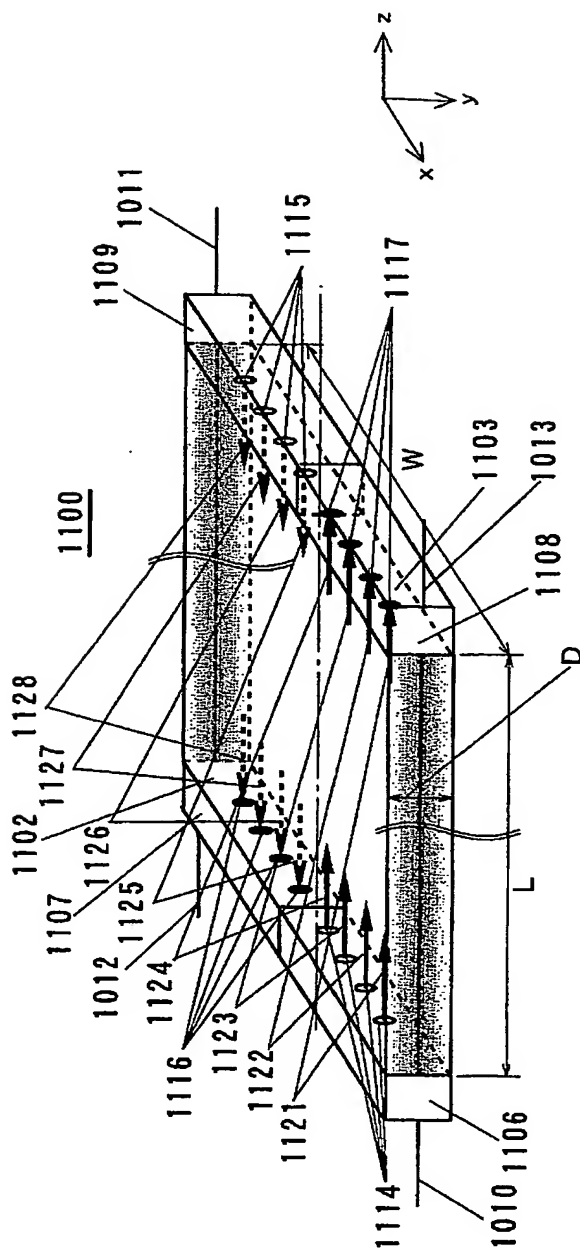
【図 9】



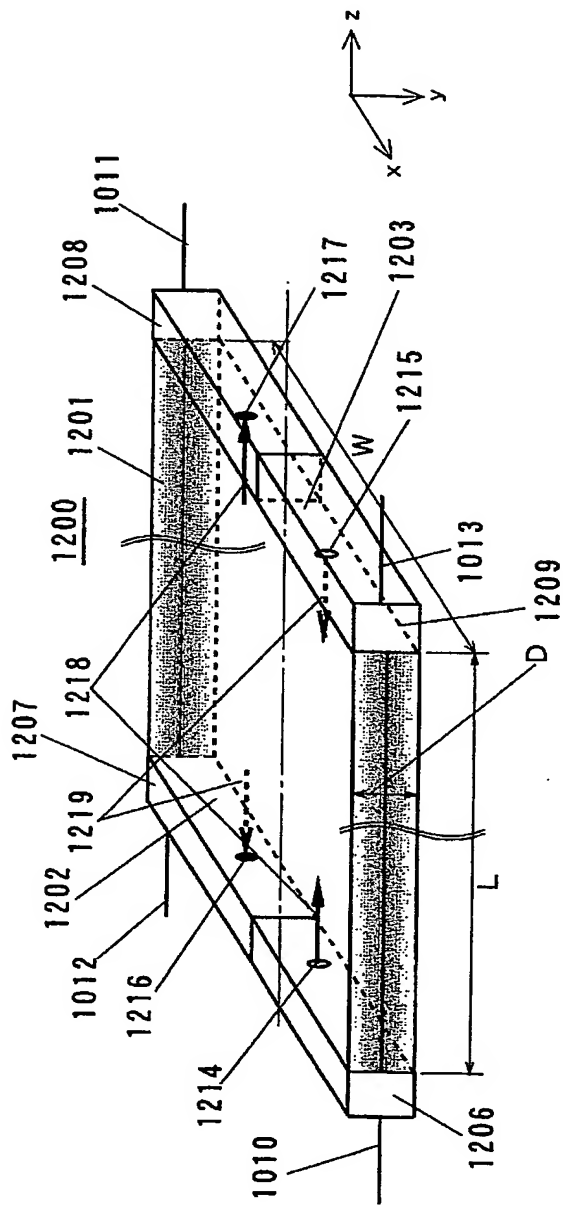
【図 10】



【図 11】

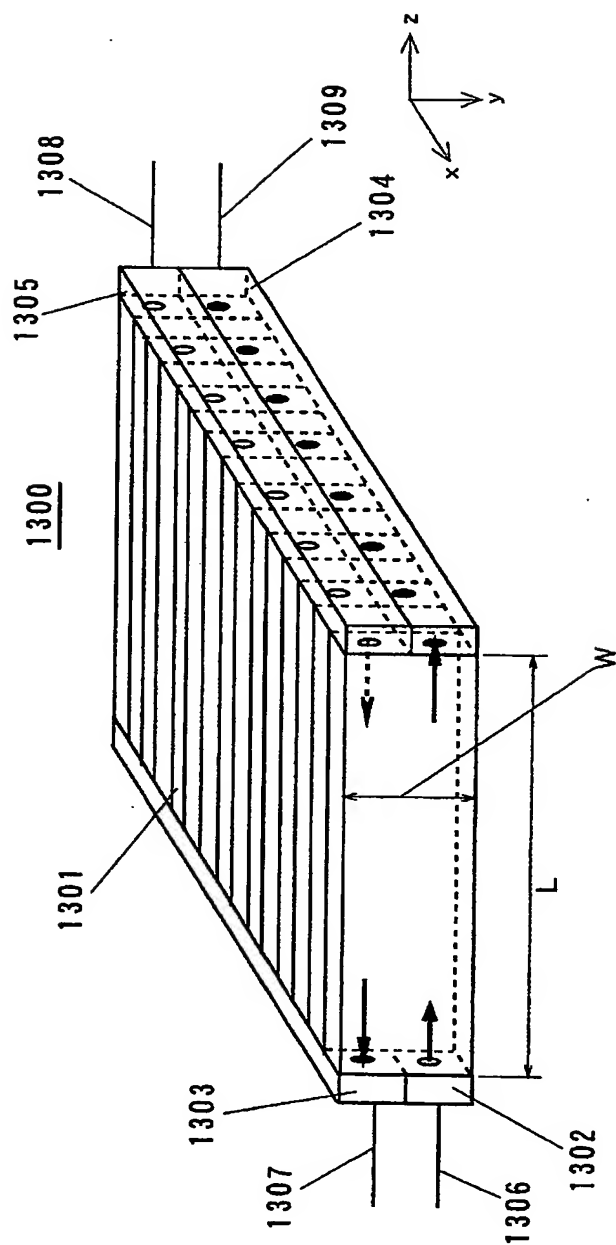


【図 12】

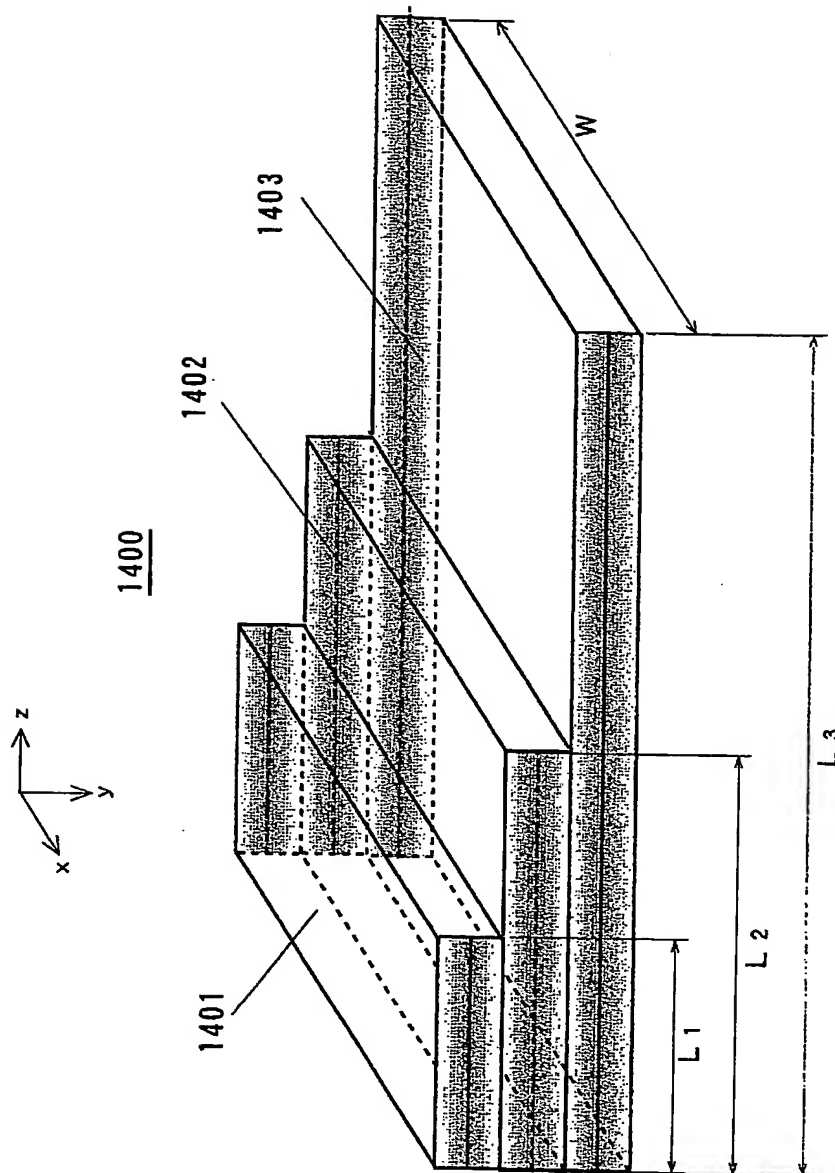




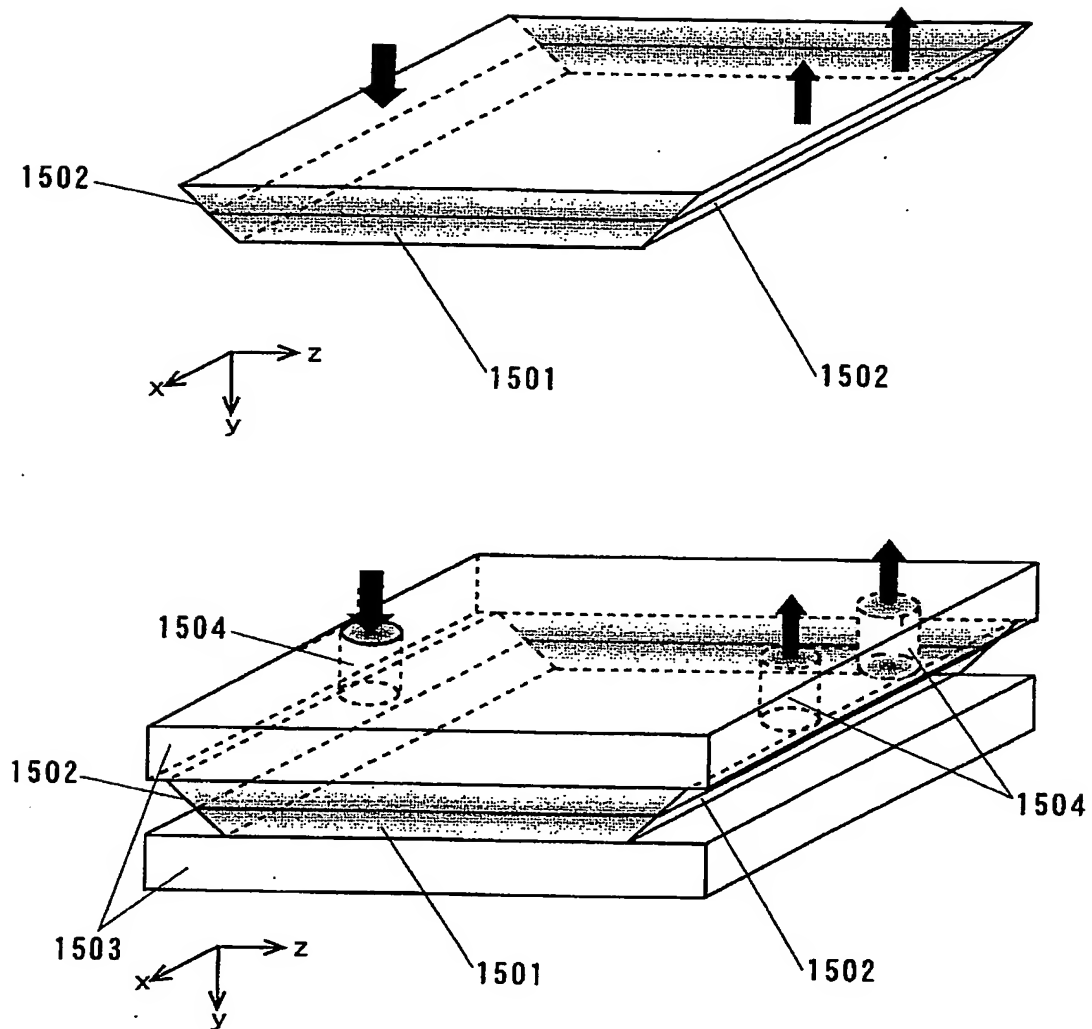
【図 13】



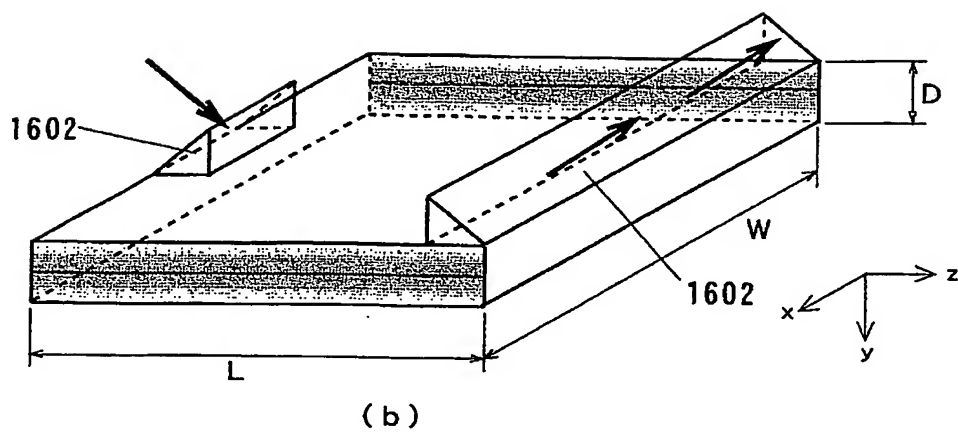
【図 14】



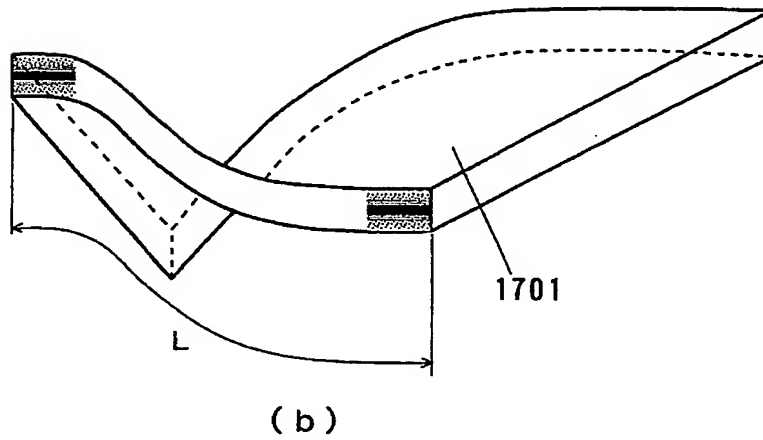
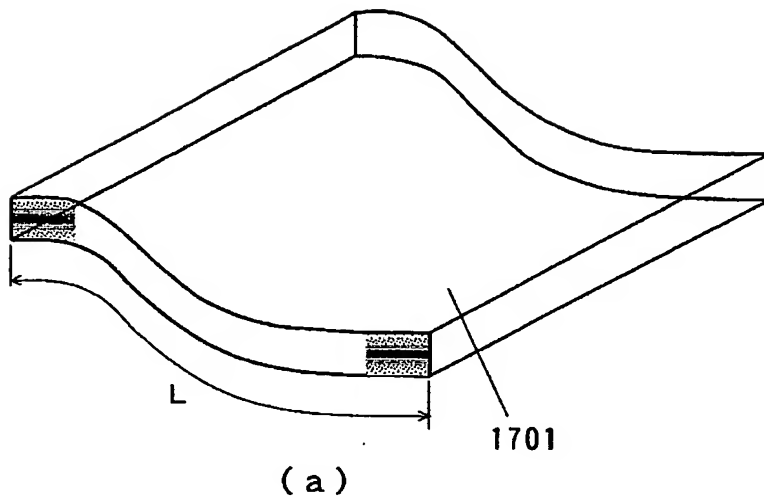
【図 15】



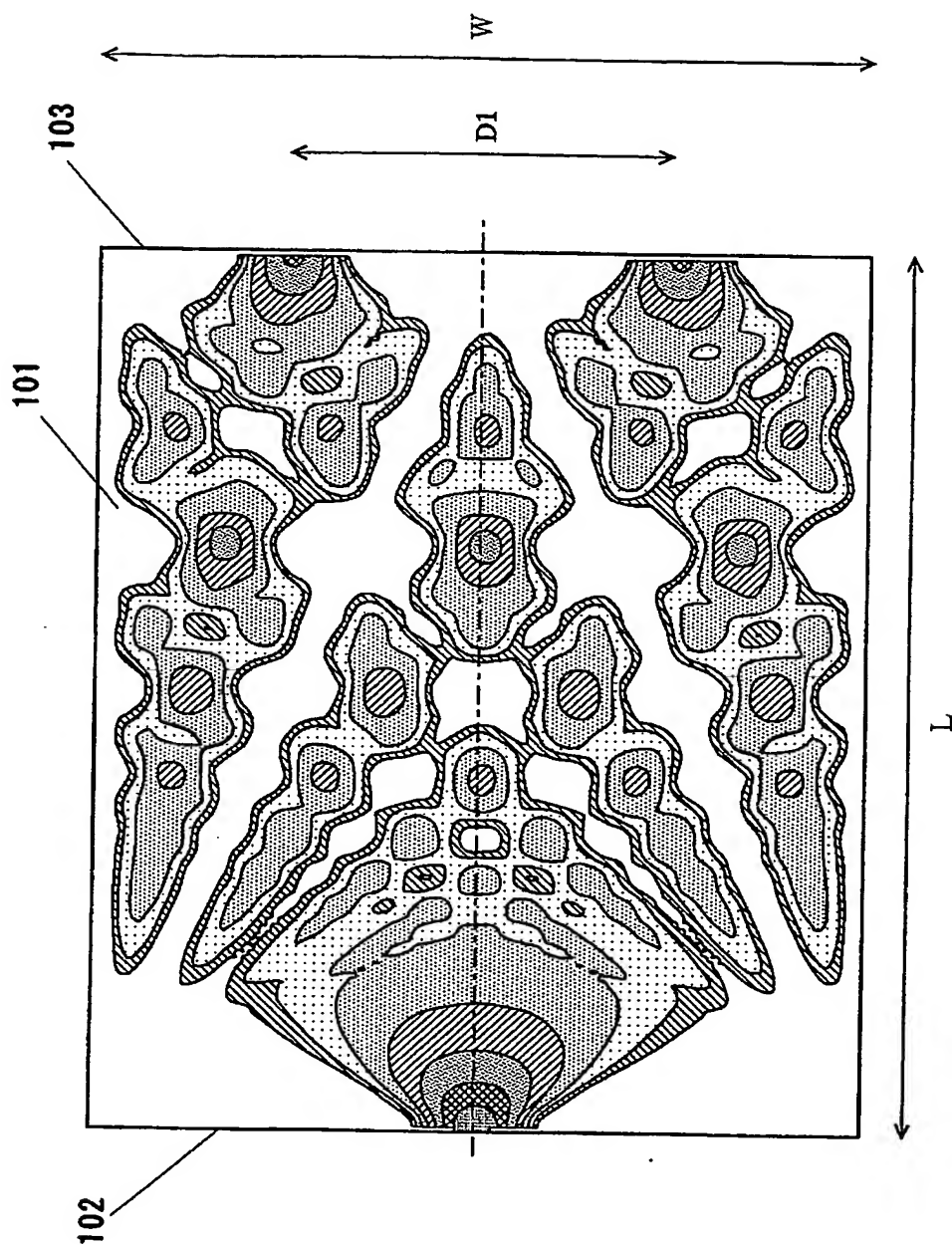
【図 16】



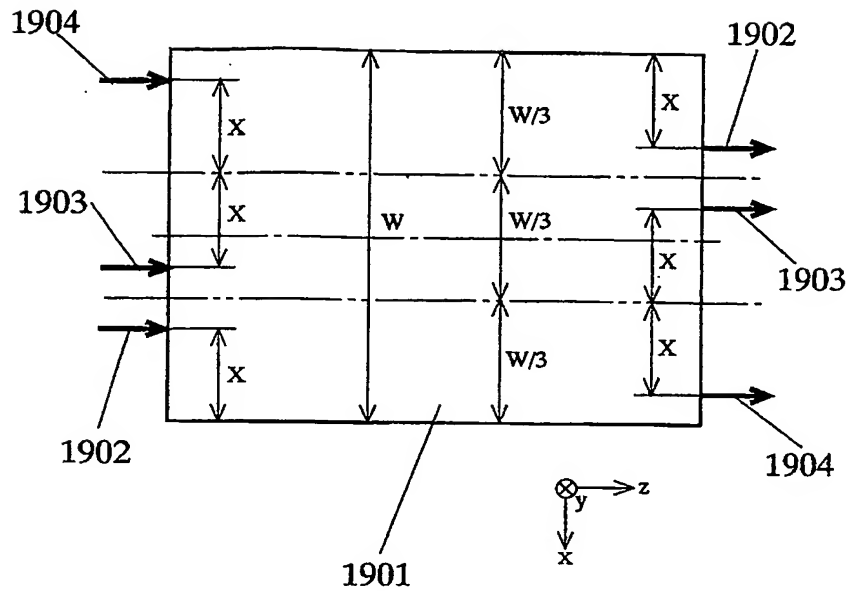
【図 17】



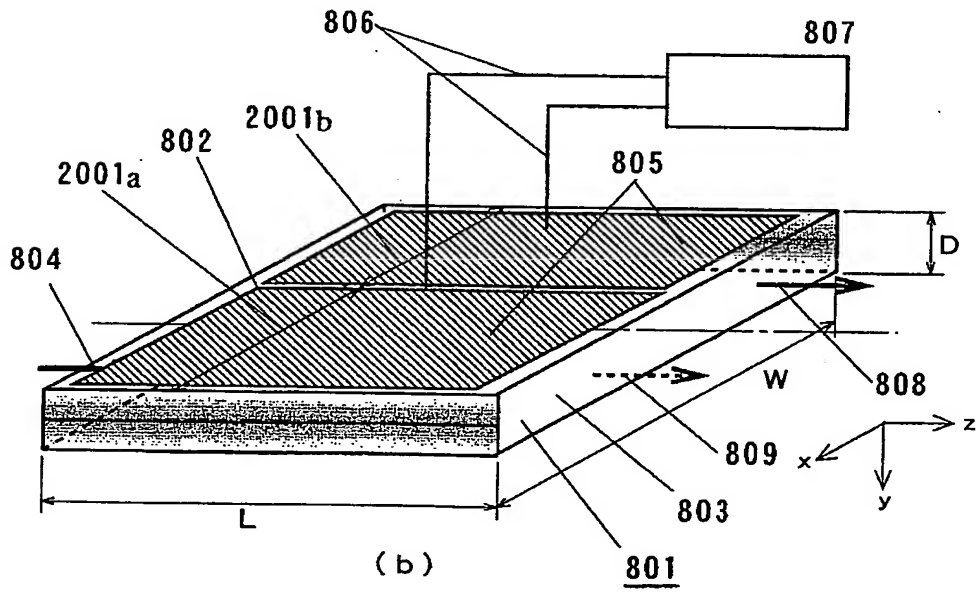
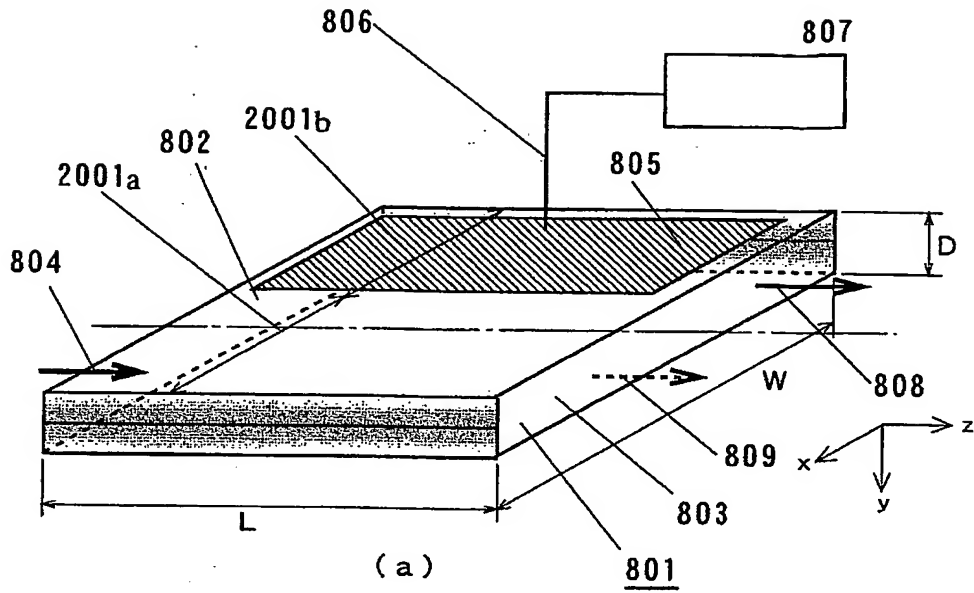
【図 18】



【図 19】

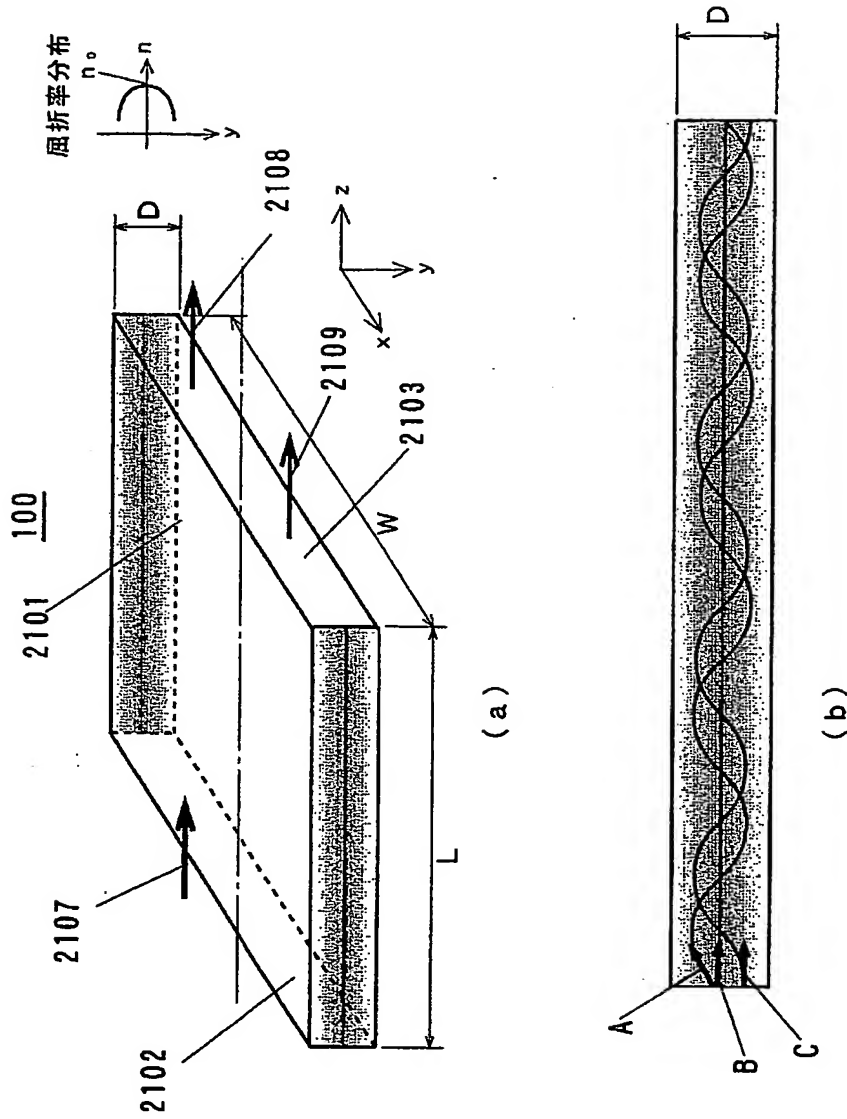


【図 20】

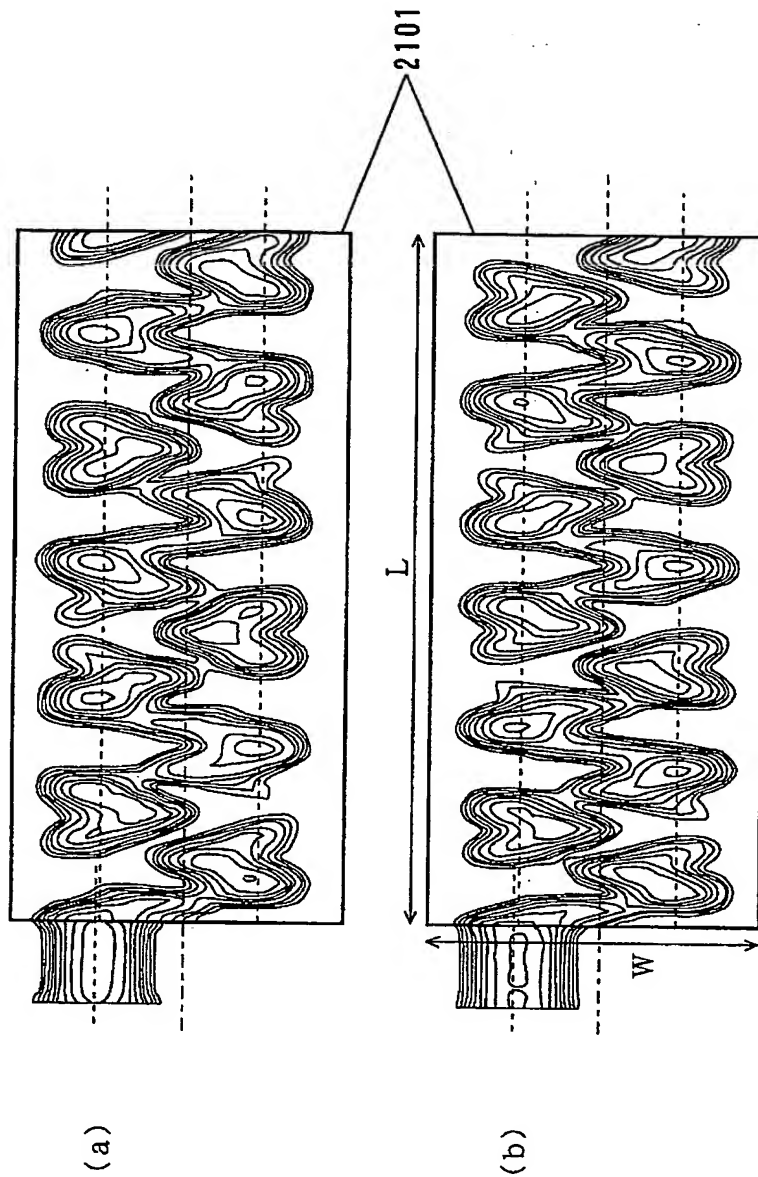




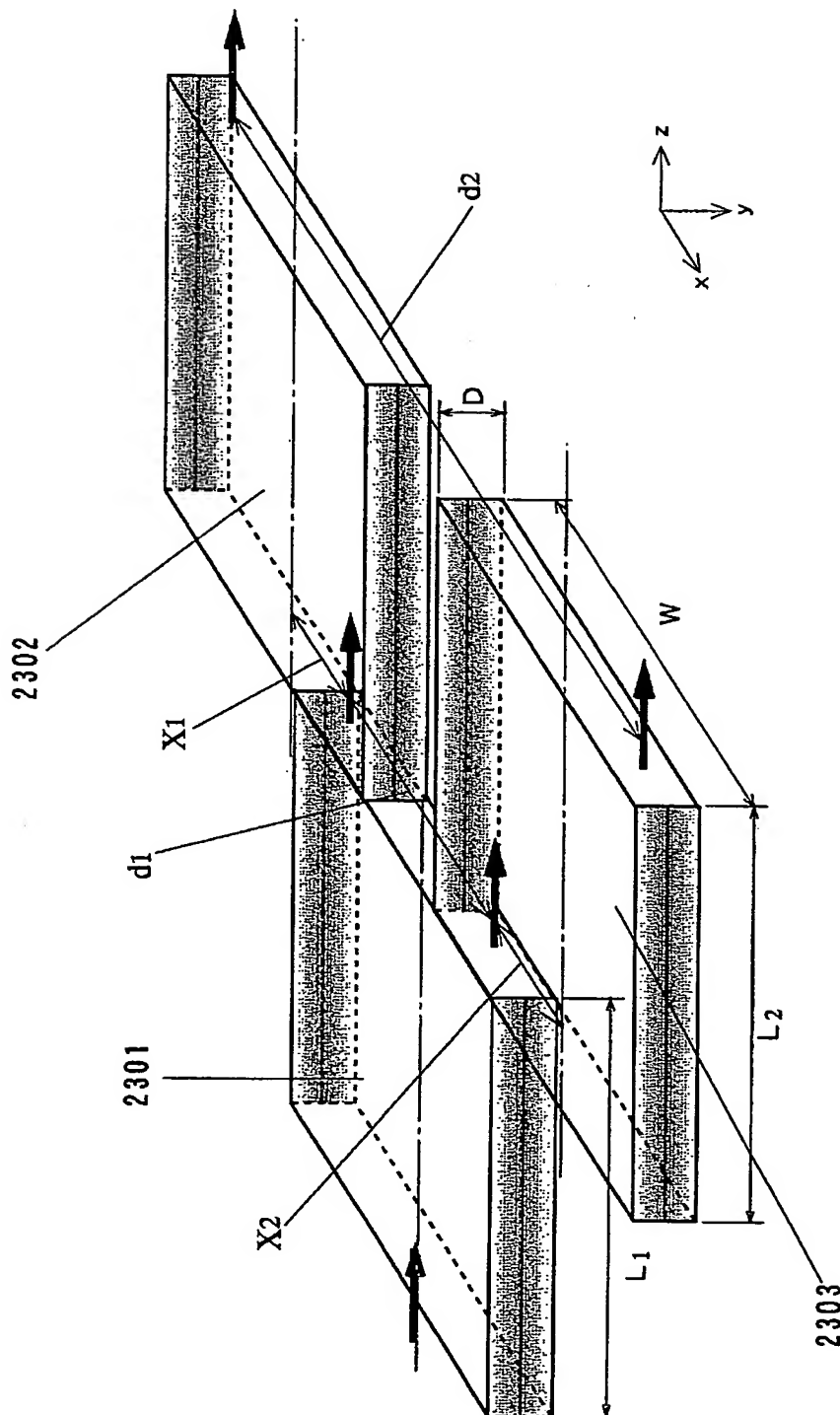
【図 21】



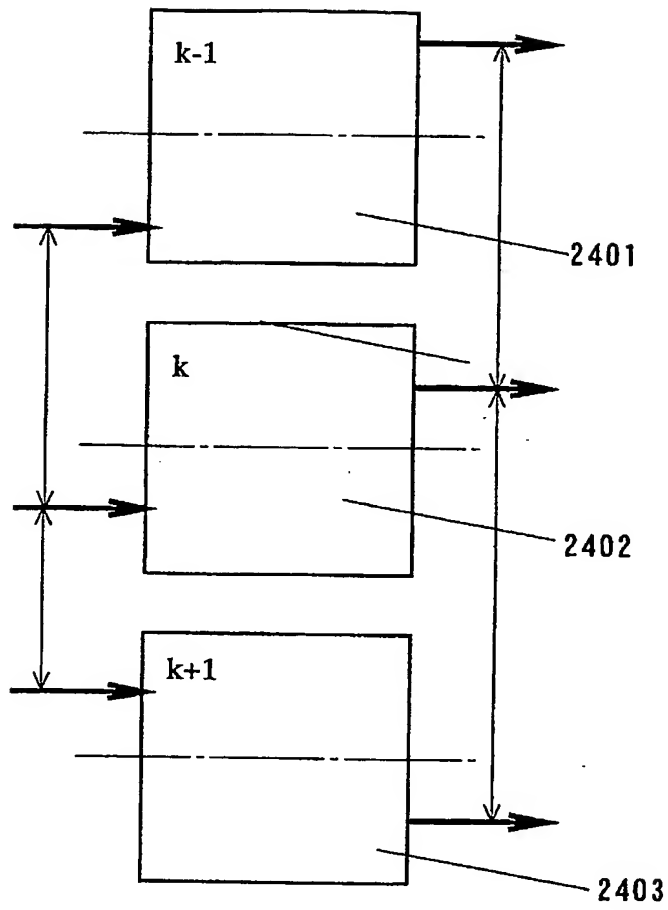
【図22】



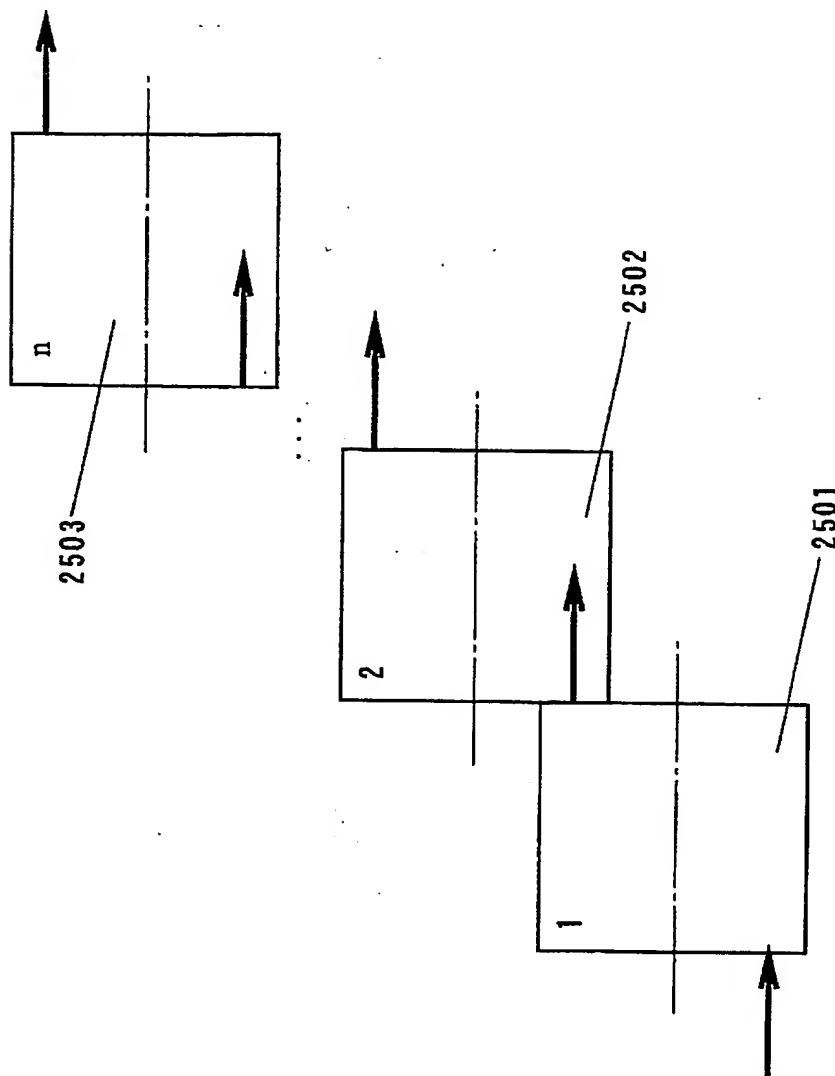
【図 23】



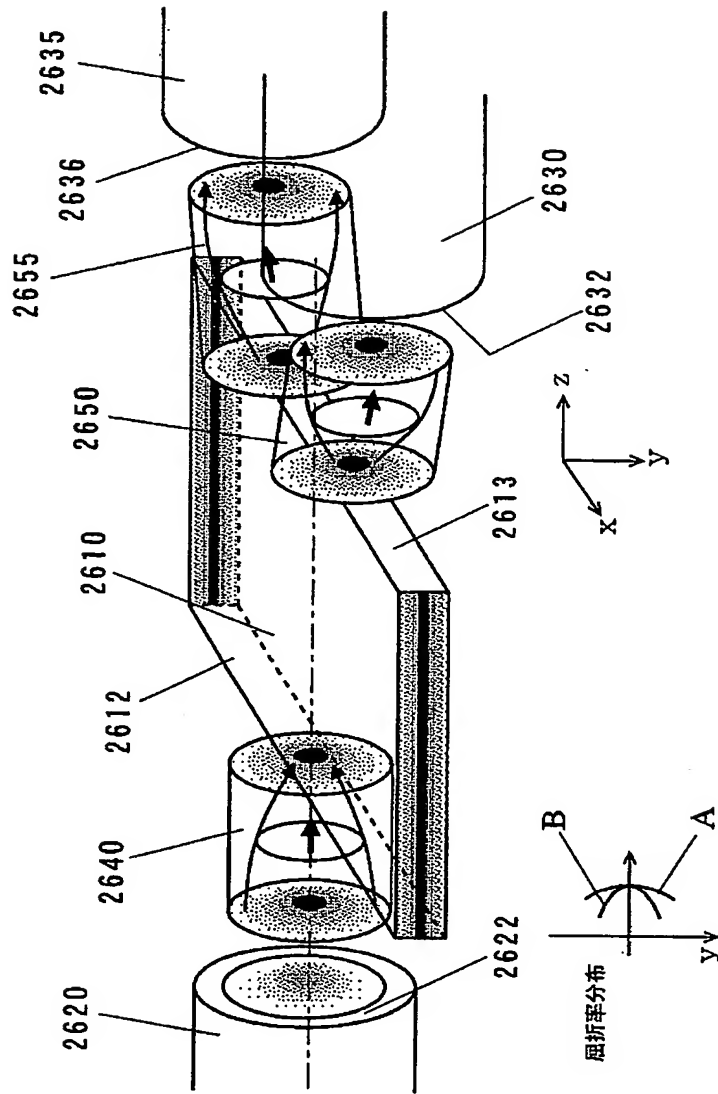
【図 24】



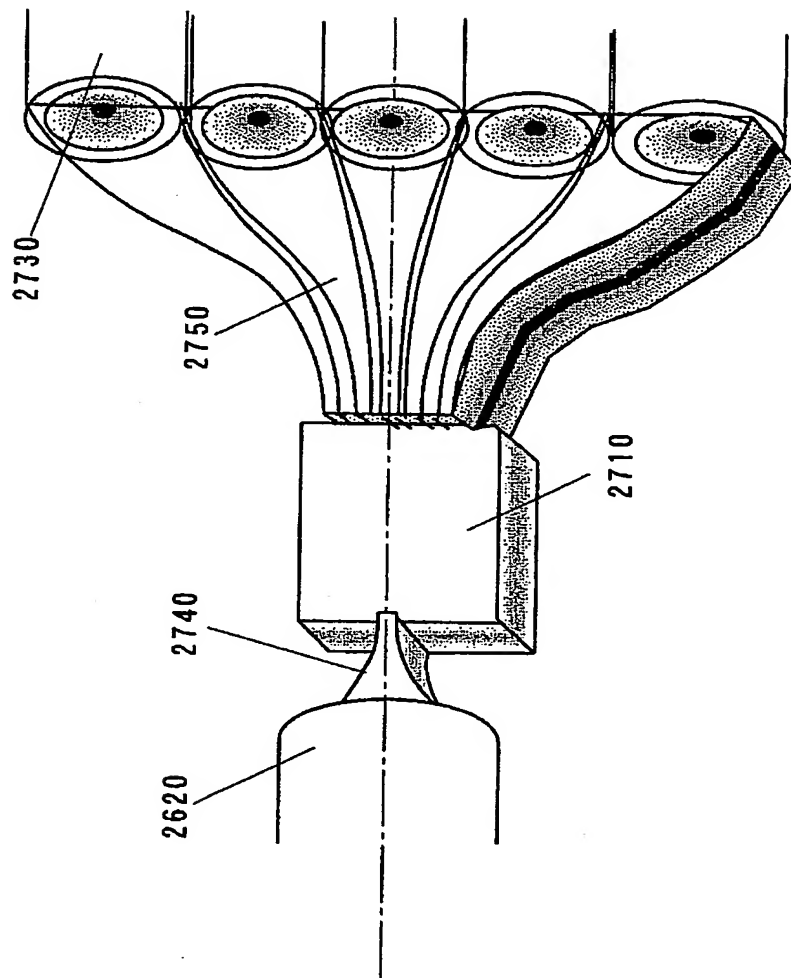
【図 25】



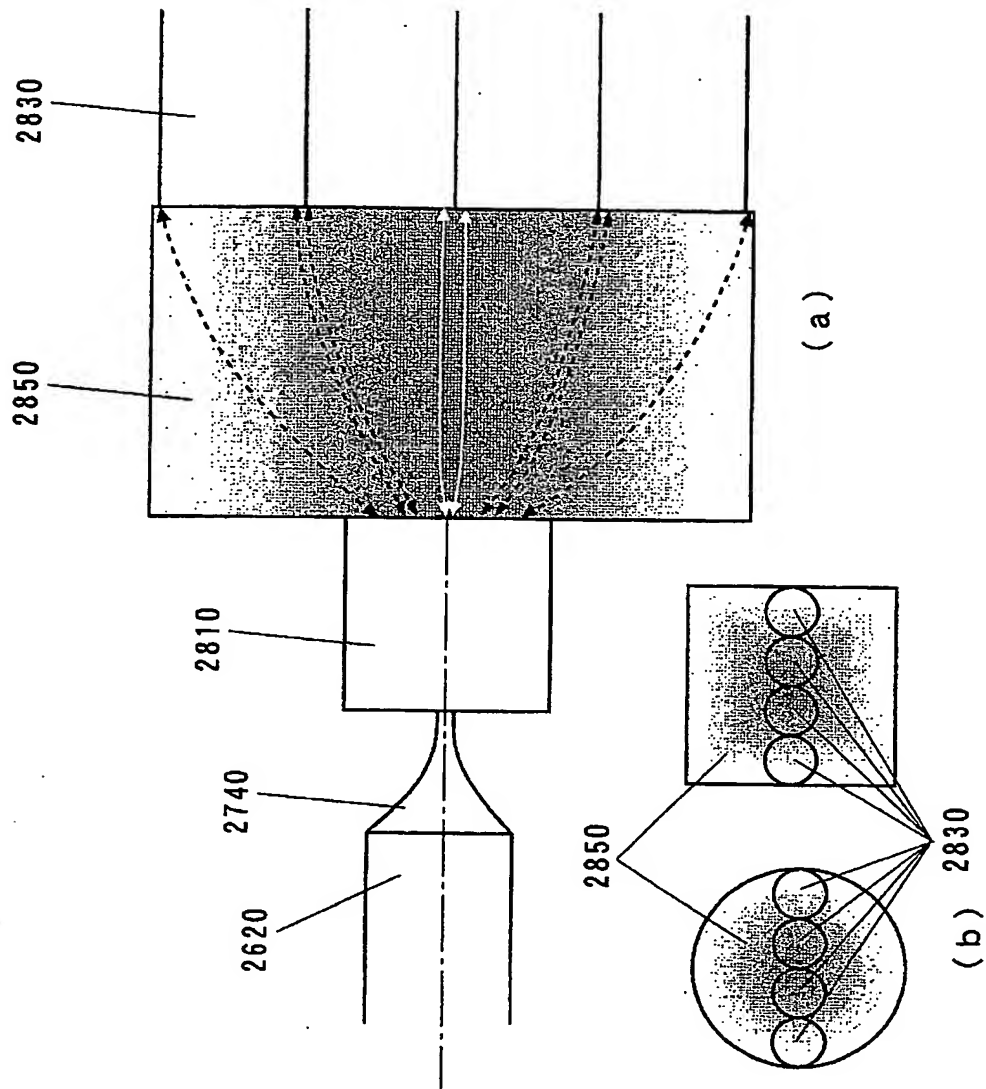
【図 26】



【図 27】

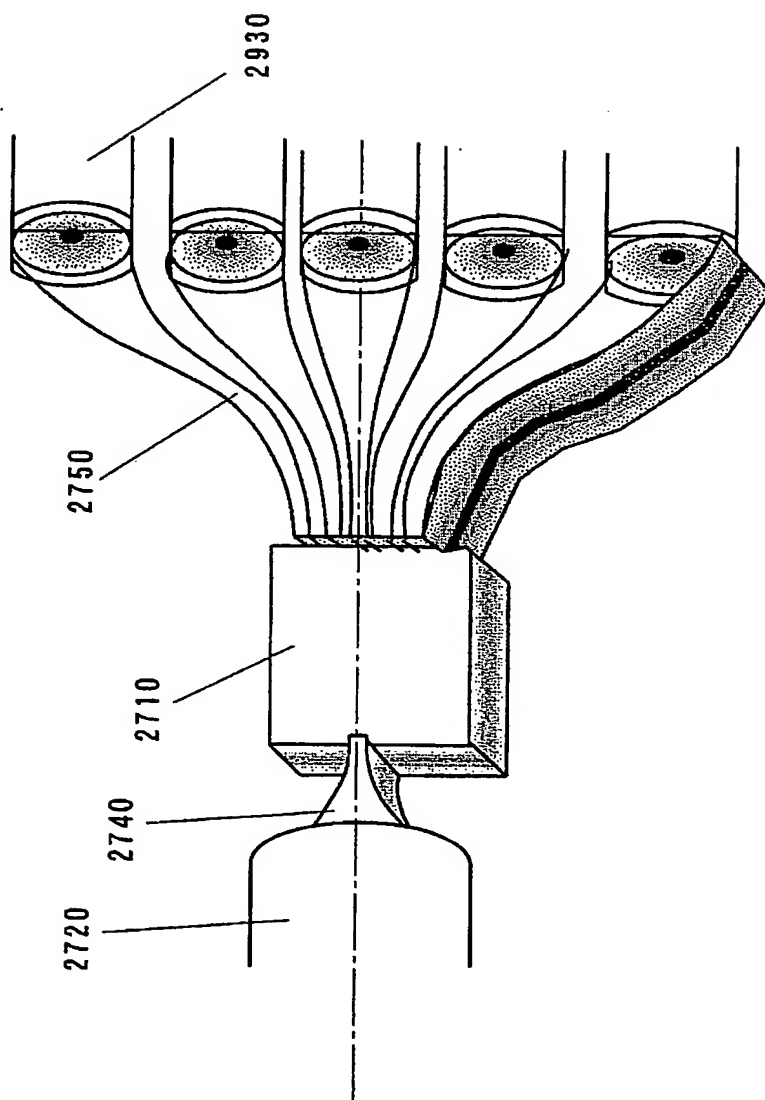


【図 28】

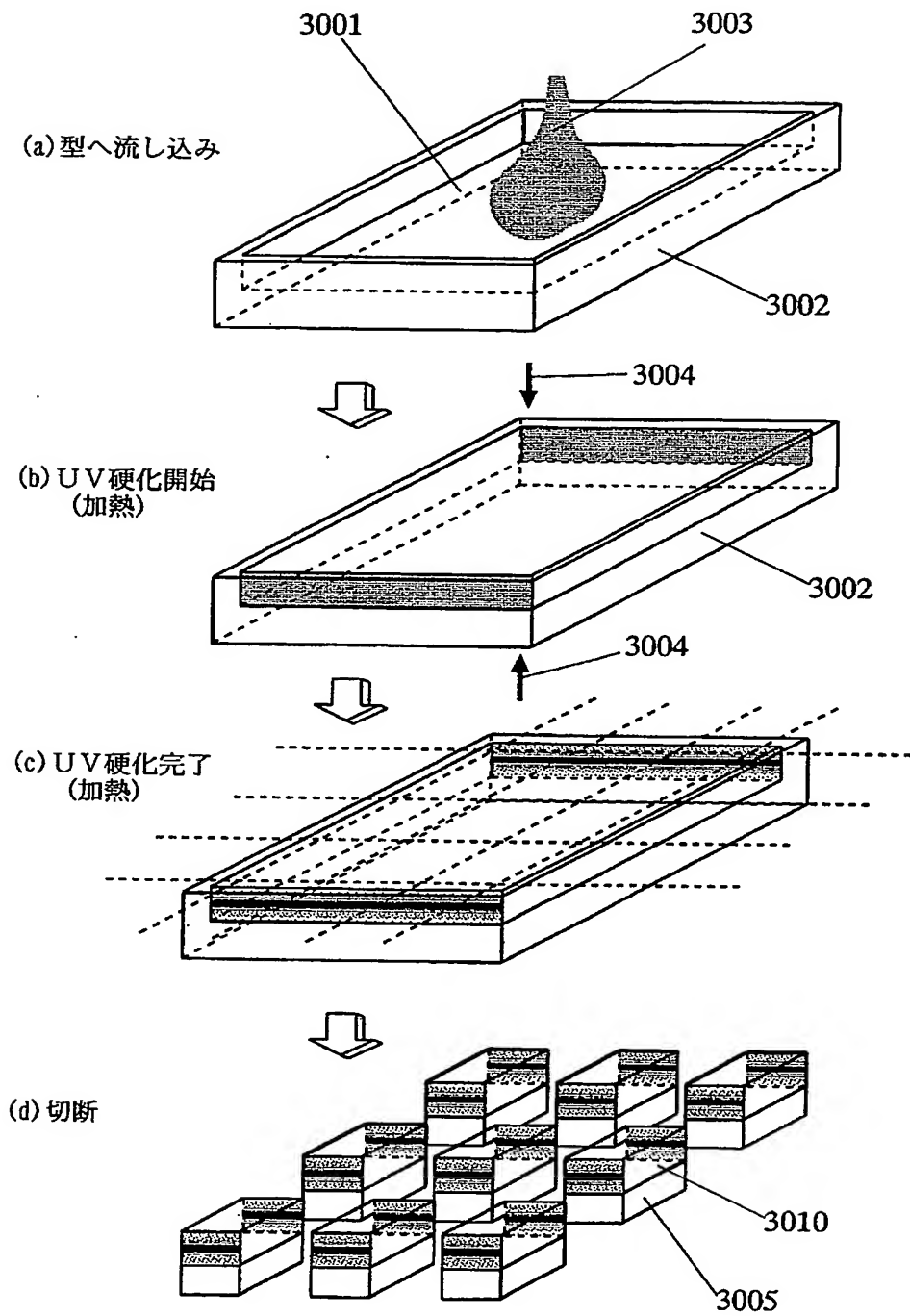




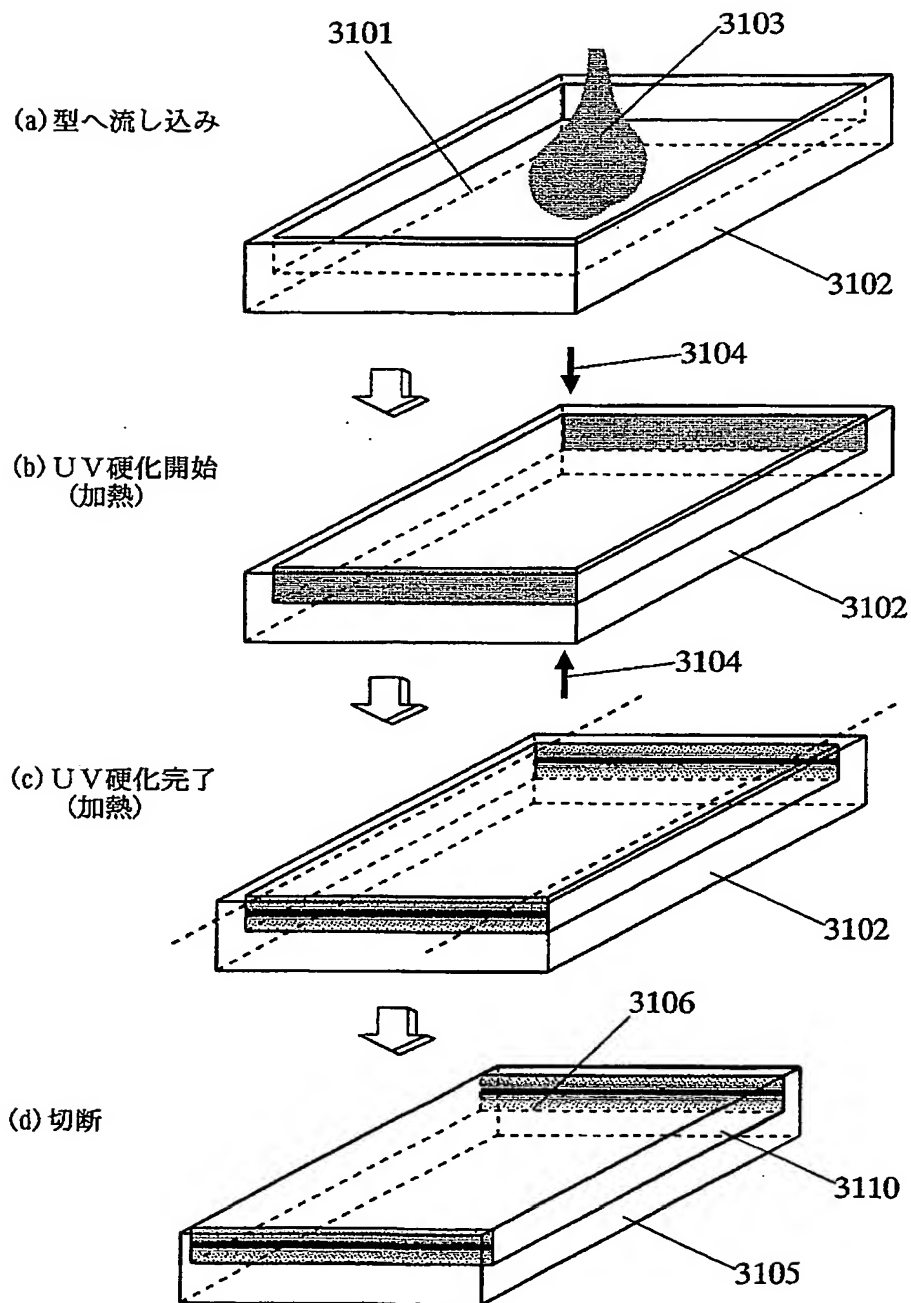
【図 29】



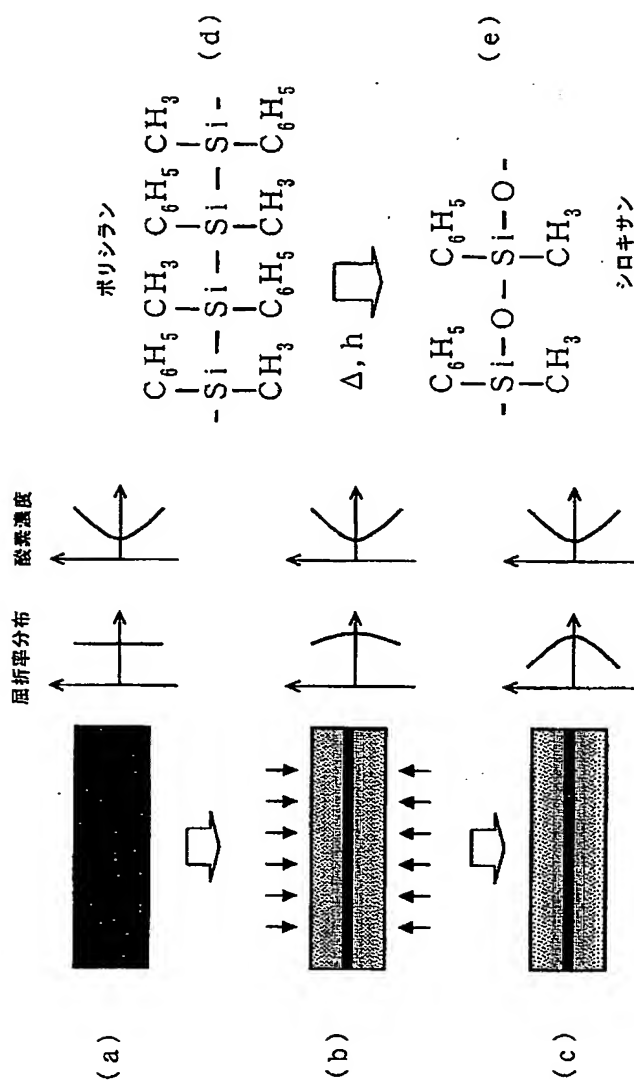
【図 30】



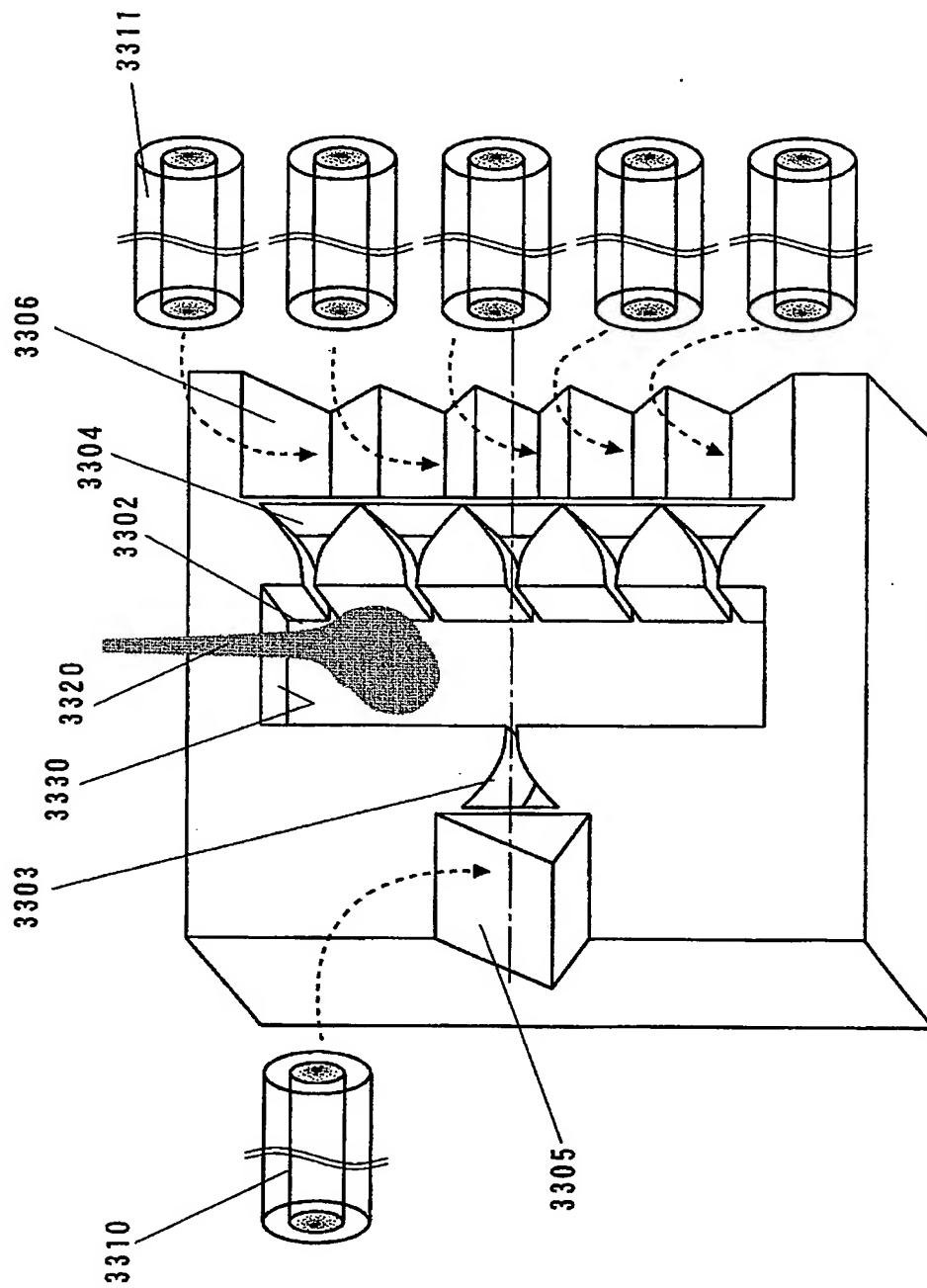
【図 31】



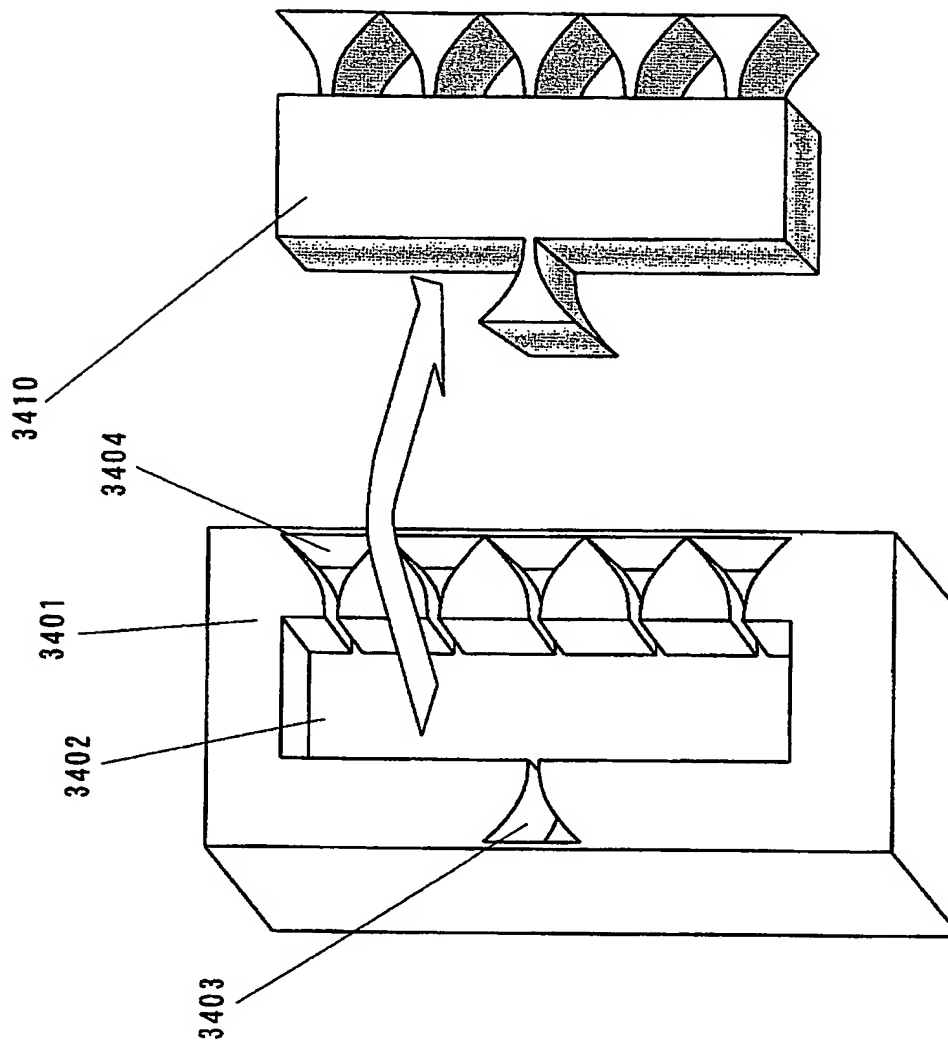
【図 32】



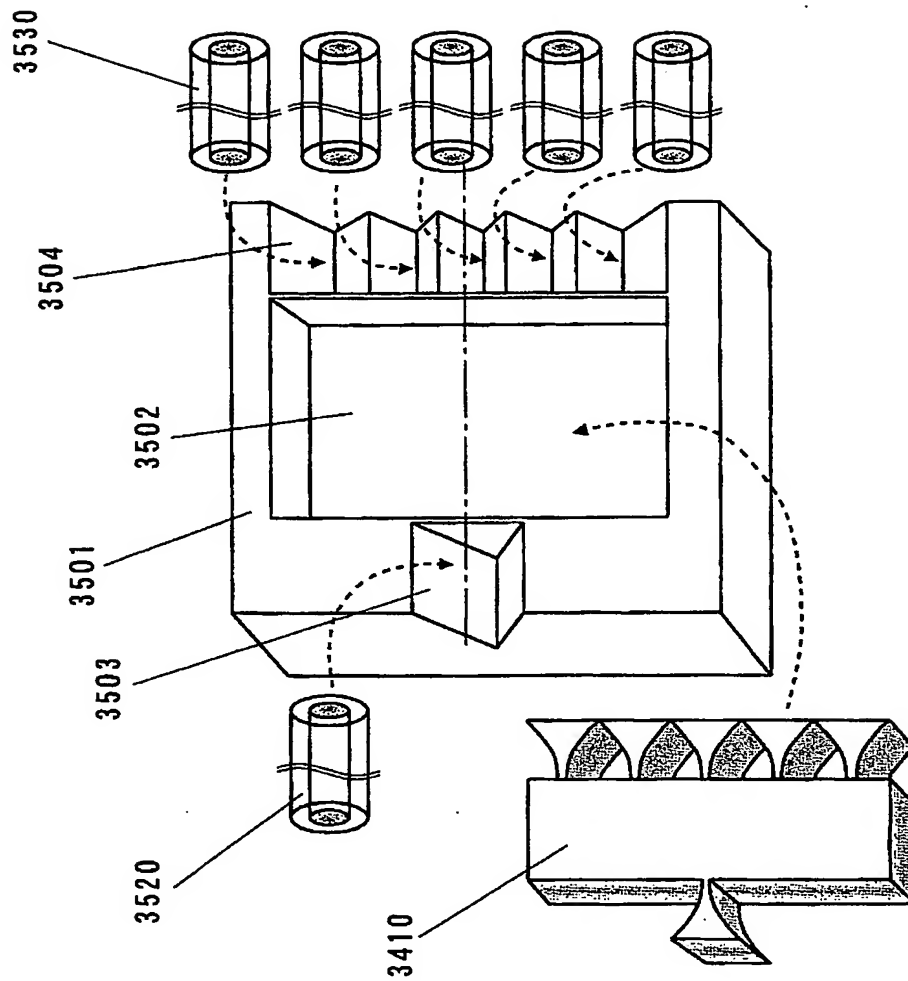
【図 33】



【図 34】



【図 35】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 光信号を入射させる際の結合が容易で損失が小さいシート状マルチモード光伝送路を備え、シングルモードによる光信号の伝送と同等の10Gbps程度の高速伝送が可能である光デバイスを提供する。

【解決手段】 外部から入力される入力信号を光信号により処理して所望の出力信号を生成し、出力する光デバイスであって、長さ方向及び幅方向に広がるシート状であり、長さ方向及び幅方向の両方向に直交する厚さ方向に屈折率が変化する屈折率分布を含む。光デバイスは、入力信号に対応する光信号を入射光として入射させ、入射光を幅方向に複数の固有モードを持つマルチモードで長さ方向に伝送するとともに、入射光から出射光を生成し、出射光を出力信号に対応する光信号として出射するマルチモード光伝送路を備える。マルチモード光伝送路の出射光は、固有モードが長さ方向に沿って相互に干渉することにより生成される。

【選択図】 図1



特願2004-068066

ページ: 1/E

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2004-068066
受付番号	50400397444
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成16年 3月15日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成16年 3月10日

出証特2004-3055170

特願 2004-068066

出願人履歴情報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1990年 8月28日

新規登録

住所  
氏名

大阪府門真市大字門真1006番地  
松下電器産業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**